



ZIE
Fondation ZIE

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES,
ENVIRONNEMENTALES D'UN OUVRAGE DE
FRANCHISSEMENT ET DE SES VOIES D'ACCÈS SUR LE
BOLO à zawara, ROUTE DÉPARTEMENTALE 124

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU

MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE

L'ENVIRONNEMENT

OPTION : GENIE CIVIL

Présenté et soutenu publiquement le 22 Juin 2012 par

Doh Koffi Seyram BADJISSI

Travaux dirigés par :

M. Gilles GUIGMA, Ingénieur du Génie Civil Chef de projet

Dr. Ismaïla GUEYE, Enseignant chercheur, UTER Infrastructure et Science des Matériaux

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr. Ismaïla GUEYE**

Membres et correcteurs : **Dr. Ismaïla GUEYE**

M. Gilles GUIGMA

M. Dramane COULIBALY

Promotion [2011/2012]

REMERCIEMENTS/DEDICACES

Nous tenons à présenter nos sincères remerciements à l'endroit de M. **Ismâïla GUEYE** du Directeur Général de AGEIM Ingénieur Conseil en la personne de M. **Tiraogo Hervé OUEDRAOGO** qui a accepté de nous recevoir au sein de sa structure pour un stage de fin d'étude.

Mes plus sincères remerciements à mon encadreur principal, M. **Gilles GUIGMA** Ingénieur du Génie Civil Chef de projet pour le sujet, ses corrections, ses conseils éclairés, sa constante disponibilité et sa grande qualité humaine.

Mes plus vives reconnaissances à tous les membres du jury.

Mes sincères remerciements à ma mère Mme **BADJISSI Philomène**, mon père M. **BADJISSI Samuel**, mes sœurs **BADJISSI Andréa** et **BADJISSI Nadia**, à ma Fiancée **EKPE Inès**. Je vous dédie ce travail pour l'amour et le soutien que vous m'avez témoigné pendant toutes ces années d'absences à vos côtés, ainsi que les sacrifices que vous m'avez consentis pour que je puisse en arriver là.

A tout le personnel d'AGEIM qui nous a bien accueillis, au personnel enseignant du 2IE, pour leurs enseignements et à mes amis.

Je remercie également tous ceux qui de près ou loin m'ont aidé et accompagné dans ce travail.

RESUME

La présente étude dont le thème s'intitule « **ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES, ENVIRONNEMENTALES D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT ET DE SES VOIES D'ACCÈS SUR LE BOLO à zawara, ROUTE DÉPARTEMENTALE 124** » s'articule autour de deux points fondamentaux à savoir l'aménagement de la route en terre RD 124 et du dimensionnement d'un ouvrage de franchissement. Cette étude s'inscrit dans le cadre du programme des actions prioritaires en matière d'infrastructures routières du Gouvernement Burkinabé. Elle vise à :

- ✚ permettre au réseau de jouer pleinement son rôle dans le développement des échanges dans le pays ;
- ✚ concevoir une route qui respecte les normes administratives, techniques, économiques, environnementales ;
- ✚ assurer une viabilité permanente.

Pour atteindre ces objectifs la méthodologie adoptée rassemble les différentes prestations telles que : la reconnaissance détaillée du site, les travaux topographiques, les études géotechniques, les études hydrologiques et hydrauliques, les études d'impacts environnementaux et sociaux, la conception géométrique et dimensionnement de la chaussée, la conception et le calcul structural des ouvrages d'art et hydraulique, l'élaboration des plans d'exécution des ouvrages et élaboration du devis estimatif.

La structure de chaussée ainsi aménagée est constituée d'une couche de roulement de 20cm en graveleux latéritique posée sur une couche de forme de 30cm d'épaisseur et un remblai de hauteur variable mais suffisante pour la mise hors d'eau de la route. L'étude hydrologique a donné un débit de $142.83\text{m}^3/\text{s}$ permettant l'obtention d'un dalot de dimensions 8 x 4 x 2.5. L'estimation globale du projet s'élève à 425 000 000 FCFA.

Mots Clés :

1. **Route en terre**
2. **Ouvrage de franchissement**
3. **Etudes techniques**
4. **Route départementale 124**
5. **Localité de Zawara**

ABSTRACT

The present study whose topic is entitled “**DETAILED, ENVIRONMENTAL TECHNICAL STUDIES OF A WORK CROSSING ON THE BOLO, SECONDARY ROAD124**” articulates around two fundamental points with knowing installation of the overland road 124 and the dimensioning of a work of crossing. This study lies within the scope of the program of the priority actions as regards road infrastructures of the Government of the Burkinabe Republic. It aims to:

- ✚ allow the network to fully play its role in the development of the exchanges in the country;
- ✚ design a road which respects the administrative standards, technical, economic, environmental;
- ✚ ensure a permanent viability.

To achieve these goals adopted methodology gathers the various services such as: detailed recognition of the site, topographic surveys, the studies geotechnics, studies hydrological and hydraulic, and environmental and social impact studies; the geometrical design and dimension roadway; design and structural calculation of the structures and hydraulics; development of the plans of execution of the works and development of the estimate.

The structure of roadway thus arranged makes up of a course wearing of 20cm into gravelly lateritic posed on a subgrade of 30cm thickness and a fill height variable but sufficient for the setting out of water of the road. The hydrological study gave a flow of $142.83\text{m}^3/\text{s}$ allowing obtaining a channel of dimensions $8 \times 4 \times 2.5$. The overall estimate of the project rises with 425 000 000 CFA.

Key words:

1. **Overland route**
2. **Work crossing**
3. **Technical studies**
4. **Secondary road 124**
5. **Locality of Zawara**

LISTE DES ABREVIATIONS

- A.G.E.I.M** : Agence d'Études d'Ingénierie et de Maîtrise d'œuvre
- B.A.E.L** : Béton Armé aux États Limites
- B.V** : Bassin Versant
- C.E.B.T.P** : Centre Expérimental de Recherches et d'Étude du Bâtiment et des Travaux Publics
- C.B.R**: Californian Bearing Ratio
- C.R** : Compacité Relative
- O.A** : Ouvrage d'Art
- P.H.E** : Plus Hautes Eaux
- P.I.C.F** : Passage Inférieur en Cadre Fermé
- P.K** : Point Kilométrique
- R.D** : Route Départementale
- R.H** : Rayon Horizontale
- R.N** : Route Nationale
- T.M.J.A** : Trafic Moyen Journalier Annuel
- T.P.L** : Trafic Poids Lourds
- U.V.P** : Unité de Véhicule Particulier
- V.I.P.P** : Viaduc à travées Indépendantes, à Poutres Précontraintes par Post-tension

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS/DEDICACES.....	i
RESUME.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	3
LISTE DES FIGURES.....	3
1. INTRODUCTION.....	4
2. OBJECTIFS DU PROJET.....	5
3. PRESENTATION DE LA ZONE DE PROJET.....	6
3.1. Localisation géographique.....	6
3.2. Climat.....	6
3.3. Environnement.....	6
3.4. Pluviométrie.....	6
4. ETAT GENERAL DE LA CHAUSSEE.....	7
5. PRINCIPES DE BASE POUR LES ETUDES TECHNIQUES.....	8
5.1. Etudes topographiques.....	8
5.2. Conception géométrique des routes.....	8
5.2.1. Tracé en plan.....	8
5.2.2. Profil en long.....	9
5.2.3. Homogénéité et coordination du profil en long et du tracé en plan.....	10
5.2.4. Profil en travers.....	11
5.3. Etude de la sécurité et de la signalisation routière.....	12
5.3.1. Signalisation horizontale.....	12
5.3.2. Signalisation verticale.....	12
5.3.3. Glissières de sécurité.....	12
5.4. Etudes géotechniques.....	12
5.5. Dimensionnement des structures de chaussées.....	14
5.5.1. Calcul du Trafic.....	14
5.5.2. Détermination de l'épaisseur minimale de la couche de roulement.....	15
5.5.3. Détermination de l'épaisseur d'usure.....	16
5.5.4. Epaisseur totale de la chaussée.....	17
5.6. Etude hydrologique.....	18
5.7. Etude hydraulique.....	19
5.7.1. Détermination du débit capable de l'ouvrage projeté.....	19

5.7.2. Assainissement de la Chaussée	20
6. JUSTIFICATION ET CHOIX DE TYPE D'OUVRAGE	21
7. DIMENSIONNEMENT DU PROJET D'EXECUTION	24
7.1. Dimensionnement hydraulique du dalot.....	24
7.2. Calcul du dalot.....	25
7.3. Calcul du mur en aile.....	40
8. ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX.....	42
8.1. Impacts potentiels.....	42
8.1.1. Les impacts négatifs	42
8.1.2. Les impacts positifs	43
8.2. Mesures d'atténuations et de bonification.....	44
9. CONCLUSION	47
10. BIBLIOGRAPHIE	48
11. ANNEXES	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: répartition saisonnière de la zone de projet	6
Tableau 2 : paramètres fondamentaux du tracé en plan	9
Tableau 3: paramètres fondamentaux du Profil en long	10
Tableau 4: sondage par puits à ciel ouvert	13
Tableau 5: emprunts pour couche de roulement	13
Tableau 6: classification des sols en place	14
Tableau 7: typologie des véhicules comptés	14
Tableau 8: résultats des enquêtes	15
Tableau 9: classes de trafics	15
Tableau 10: résultats de calcul de l'épaisseur minimale	16
Tableau 11: usure annuelle en fonction du trafic	16
Tableau 12: usure par la méthode de la commission des Nations Unies	17
Tableau 13: données de pluie	18
Tableau 14 : résumé du calcul hydraulique de la section du lit	20
Tableau 15: capacité des fossés de drainage	20
Tableau 16 : analyse comparative	22
Tableau 17: dimensions du gousset.....	25
Tableau 18: paramètres de dimensionnement de l'ouvrage	25
Tableau 19: classe de pont	27
Tableau 20: valeurs du coefficient a_1	28
Tableau 21: valeurs de v_0	28
Tableau 22: valeurs du coefficient bc	29
Tableau 23: valeurs du coefficient bt	30
Tableau 24 : sections d'armatures du dalot à 4 ouvertures	35
Tableau 25 : sections d'armatures du dalot à une ouverture	37
Tableau 26 : sollicitations	39
Tableau 27 : sections d'armatures du mur en aille.....	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1: système de charge Bc.....	29
Figure 2 : système de charge Bt	30
Figure 3 : système de charge Br	31

1. INTRODUCTION

La présente étude s'inscrit dans le cadre du programme des actions prioritaires en matière d'infrastructures routières du Gouvernement Burkinabé. Ce programme doit permettre de disposer d'un réseau routier offrant un niveau de service acceptable à l'utilisateur et participer de ce fait au développement socio-économique local et national du pays. Ainsi, dans les perspectives de désenclavement des zones importantes du pays, de rendre l'accès à ces zones facile en saison pluvieuse, d'éviter les pertes de temps lors du contournement des cours d'eaux pour accéder à ces zones et du développement de la communauté de Zawara de la région du centre ouest, les « **ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES, ENVIRONNEMENTALES D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT ET DE SES VOIES D'ACCÈS SUR LE BOLO à zawara, ROUTE DÉPARTEMENTALE 124** » ont été confiées aux bureaux d'études A.G.E.I.M (Agence d'Études d'Ingénierie et de Maîtrise d'œuvre) par le Ministère des Infrastructures et du Désenclavement.

Les différentes études effectuées dans le cadre de ce projet abordent les points suivants :

- *La présentation de la zone de projet ;*
- *Les relevés visuels de l'état de la chaussée et diagnostics sommaires de l'état des ouvrages et assainissement ;*
- *Le rappel des principes de base pour les études techniques ;*
- *Les études topographiques ;*
- *Les études géotechniques ;*
- *Les études hydrologiques et hydrauliques ;*
- *La conception géométrique de la route ;*
- *Le dimensionnement de l'ouvrage de franchissement ;*
- *Les études environnementales.*

Par ailleurs, pour satisfaire les besoins exprimés par le Maître d'ouvrage, une estimation des coûts des travaux sera établie pour les prestations citées précédemment.

Ce document sera clôturé par une conclusion et des recommandations sur la mise en place de l'ouvrage, la couche de forme et du remblai.

2. OBJECTIFS DU PROJET

Les prestations régies par la présente étude visent à:

- ✚ permettre au réseau de jouer pleinement son rôle dans le développement des échanges dans le pays ;
- ✚ concevoir une route qui respecte les normes administratives, techniques, économiques, environnementales ;
- ✚ assurer une viabilité permanente

3. PRÉSENTATION DE LA ZONE DE PROJET

3.1. Localisation géographique

La RD124 se situe dans la localité de Zawara, commune rurale de Zawara (province du Sanguié, région centre-ouest). Elle permet de connecter la localité de Zawara à la RNI, de désenclaver des localités importantes en terme d'activités agricoles. (*Voir annexe 9*)

3.2. Climat

Le climat de la zone d'étude à l'instar du climat de l'ensemble du Burkina Faso est directement influencé par la circulation atmosphérique qui prévaut en Afrique de l'ouest et qui est animé par deux centres variables de hautes pressions (anticyclones). En janvier un puissant anticyclone saharien donne naissance à un flux d'air tropical continental sec et chaud de secteur Nord-est : c'est l'alizé continental boréal ou harmattan. Symétriquement l'anticyclone austral ou anticyclone de Sainte-Hélène émet un flux d'air tropical maritime humide et chaud de secteur sud-ouest : c'est l'alizé maritime austral ou mousson.

3.3. Environnement

Le site se situe dans la localité de Zawara et les habitations sont assez éloignées du cours d'eau. La végétation est assez dense le long du cours d'eau. Le site de l'O.A est localisé sur le fleuve de Bolo traversant la route sur des sols peu évolués, ferrugineux (sablo-argileux, argileux-sableux), hydromorphe, gravillonnaire et limoneux. Le projet comporte une zone d'influence directe constituée par l'emprise de la route à réaliser et une zone d'influence indirecte constituée de riverains. Le cours d'eau présente au droit du franchissement, un lit très étalé, encaissé et quelque peu encombré par la végétation. Son écoulement est intermittent.

3.4. Pluviométrie

Elle constitue le facteur primordial influençant des régimes hydrologiques des cours d'eau en produisant la matière première des débits des cours d'eau. Encadré par des isohyètes inter-annuelles 800 et 1200mm, la zone abritant le tronçon de route appartient à une zone climatique tropical sec de type soudanien. Ce type de climat subit en alternance deux saisons bien contrastées comme montré dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1: répartition saisonnière de la zone de projet

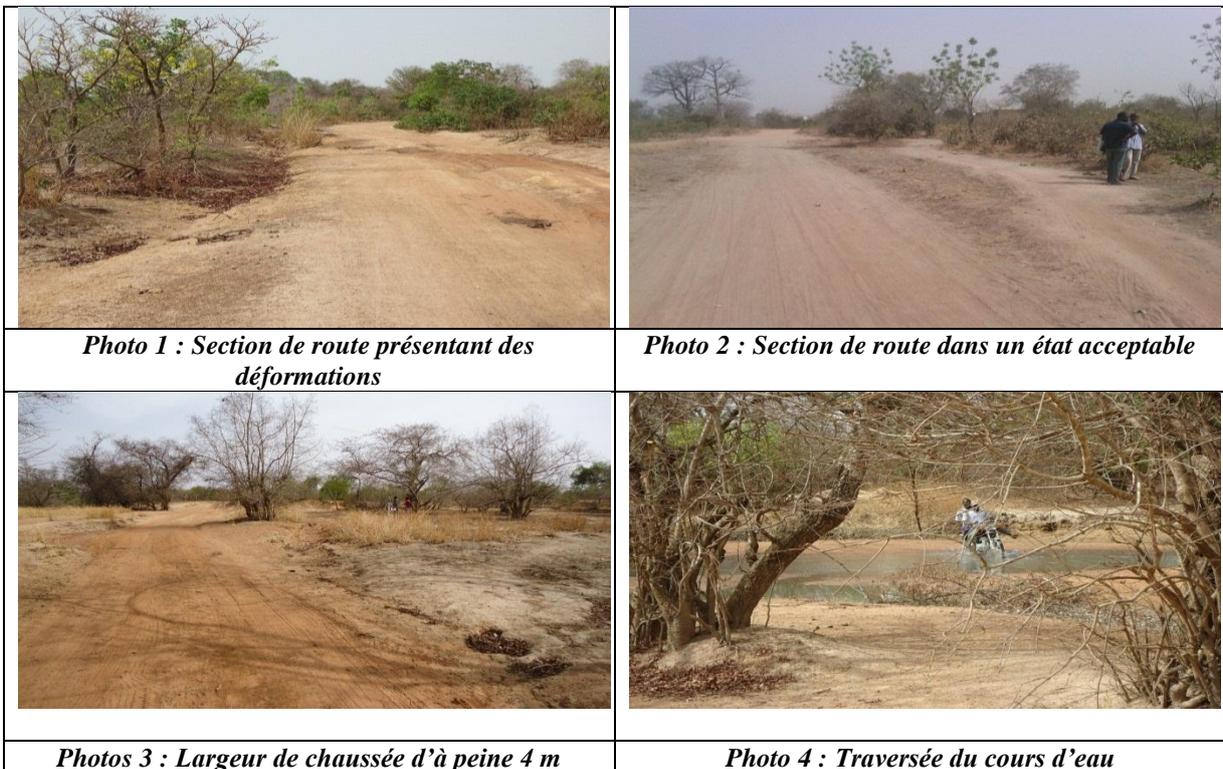
désignation	Saison sèche	Saison pluvieuse
Zone centre ouest Zawara RD124	Novembre-avril : 5mois	Avril-octobre : 7 mois

4. ETAT GENERAL DE LA CHAUSSEE

La RD124 est une route en terre en très bon état dans l'ensemble mais il existe quelques points critiques, la largeur de la chaussée est d'environ 4m. D'une manière générale, les principales dégradations relevées sont celles rencontrées sur les routes en terre, à savoir

- *Les déformations : les ornières, les flaches, la tôle ondulée, les déformations dans les rivages.*
- *Les arrachements : les ravinelements longitudinaux et transversaux, les nids de poule.*
- *Les usures de la couche de roulement en graveleux*
- *Le manque de drainage longitudinal dû à l'ensablement ou à l'absence de fossés latéraux et divergents.*

Les images suivantes illustrent l'état de la section de route en terre.



5. PRINCIPES DE BASE POUR LES ÉTUDES TECHNIQUES

5.1. Etudes topographiques

Les levés topographiques de la polygonale et de détails ont été exécutés aux abords des lits du cours d'eau (lit mineur et majeur). La densité de points, ainsi que leur alignement, permettront de dresser des profils en travers et en long des cours d'eau dans la zone d'influence de l'ouvrage et de la voie existante. Les points singuliers tels que grands arbres, axe et rives de la voie existante sont également levés. Des repères précis des points de sondages géotechniques sont posés sur le site.

Quant aux échelles des plans, elles sont indiquées ci-dessous.

- le tracé en plan à l'échelle 1/2000 ;
- le profil en long aux échelles : en longueur = 1/2000, en hauteur = 1/200 ;
- les profils en travers aux échelles 1/100 et 1/50.

5.2. Conception géométrique des routes

- catégorie R60
- vitesse de référence 60 km/h ;

5.2.1. Tracé en plan

Pour le tracé en plan, le paramètre fondamental est le rayon de courbure RH dont les valeurs minimales figurent dans le tableau ci-après. Les valeurs des rayons sont des minimums correspondant au dévers maximum de 7%. Elles sont suffisantes pour la stabilité et le confort de conduite du véhicule dans des conditions moyennes. Avec une vitesse de référence de 60km/h nous avons :

- rayon horizontale de courbe non déversée $RH' = 600m$;
- rayon horizontale minimale normale $RHN = 240m$;
- rayon minimale absolu $RHm = 120m$

Il sera retenu pour le raccordement progressif (clothoïde) un rayon $RH = RHN = 240m$ tel que $RH < RH'$. C'est le rayon en dessous duquel il ne faudrait pas descendre dans le cas normal sauf cas particulier. Ce rayon assure un confort et une sécurité plus grande et correspond à la vitesse $Vr + 20Km/h$. (annexe 6)

Tableau 2 : paramètres fondamentaux du tracé en plan

Vitesse de référence		Vr (km/h)	40	60	80
Dévers maximal		δM (%)	7	7	7
RAYON DE COURBURE	minimal absolu (dévers dM)	RHm	40	120	240
	minimal normal (dévers)	RHN (a %)	120	240	425
			5%	5%	5%
	au dévers minimal	RH" (2,5 %)	250	450	650
		RH" (2 %)	300	500	700
non déversé	RH'	400	600	900	

Par ailleurs, dans la conception du tracé en plan, nous avons recherché les conditions optimales suivantes :

- ✚ adopter si possible le rayon minimal normal ;
- ✚ passer de façon perpendiculaire au cours d'eau ;
- ✚ éviter l'embouchure de l'affluent ;
- ✚ choisir la zone la plus favorable sur le cours d'eau ;
- ✚ éviter des sections de tracé en plan rectiligne de trop grande longueur, car elles sont monotones le jour (perte de vigilance du conducteur) et gênantes la nuit à cause de l'éblouissement des phares. nous avons ainsi recherché une alternance harmonieuse entre les alignements droits et les courbes ;
- ✚ ne pas placer les courbes aux abords de l'O.A, pour assurer la visibilité et la sécurité en ce point délicat du tracé ;
- ✚ raccorder les sections circulaires et rectilignes du tracé en plan par des éléments à courbure progressive (clothoïde) :
- ✚ éviter la succession de deux arcs de cercle de même sens.
- ✚ 50m minimum entre deux courbes de sens contraire ;

5.2.2. Profil en long

Élément déterminant pour les volumes de terrassement (déblai/remblai), le profil en long est sans doute l'un des facteurs principaux intervenant dans le coût du projet. En effet, un profil

en long économique suivra au plus près le profil du terrain naturel. Toutefois, une situation de léger remblai est préférable au léger déblai qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage. Les caractéristiques du profil en long sont définies par la vitesse de référence dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3: paramètres fondamentaux du Profil en long

Vitesse de référence		Vr (km/h)	40	60	80
Déclivité maximale en rampe		d (%)	8	7	6
Rayon en angle saillant RV (m)	minimal absolu	RVm	500	1500	3000
	minimal normal	RVN	1500	3000	6000
Rayon en angle rentrant RV' (m)	minimal absolu	RVm'	700	1500	2200
	minimal normal	RVN'	1500	2200	3000
Rayon assurant la distance minimale de visibilité de dépassement sur route à 2 ou 3 voies		RVD(m)	2500	6500	11000

Pour la vitesse de référence de 60km/h les rayons minimaux des courbes sont :

- ✚ rayon en angle rentrant $RV' = 2200\text{m}$ minimum ;
- ✚ rayon en angle saillant $RV = 4500\text{m}$ minimum.

Le calage de la ligne rouge au droit du franchissement est imposé par celui de l'ouvrage d'art à y construire. Cette ligne rouge prend en compte le niveau de la P.H.E définie par l'étude hydraulique ainsi que les paramètres géométrique ci-avant exposés. (*annexe 6*)

5.2.3. Homogénéité et coordination du profil en long et du tracé en plan

Il est indispensable que la route présente des caractéristiques homogènes sur des sections de longueur suffisante. Les changements de caractéristiques doivent donc se faire en des points tels qu'ils puissent être normalement anticipés par l'utilisateur (traversée d'une agglomération, modification du relief du terrain). Nous avons coordonné, le profil en long et le tracé en plan de telle manière que la route apparaisse à l'utilisateur sans discontinuité gênante de tracé, lui permettant de prévoir son évolution et de distinguer clairement les dispositions des points singuliers, notamment les carrefours, etc.

La visibilité en plan et la visibilité en profil en long sont réalisées dans des conditions de sécurité égale.

A vitesse de référence de 60 Km/h et sur des chaussées bidirectionnelles, les valeurs minimales suivantes doivent être respectées :

- ✚ distance de visibilité minimale nécessaire au dépassement = 250m ;
- ✚ distance de réapparitions du tracé minimales nécessaires à éviter les pertes de tracé = 325 m.
- ✚ distance d'arrêt-visibilité : longueur parcourue en alignement droit qui fait passer de la vitesse V_r à 0 = 65m ; longueur parcourue en courbe qui fait passer de la vitesse V_r à 0 = 72m

5.2.4. Profil en travers

a- Caractéristiques transversales de la chaussée

- ┆ largeur de la plateforme = 6 m ;
- ┆ largeur de la chaussée = 6 m ;
- ┆ largeur des accotements = néant ;
- ┆ revêtement = néant ;
- ┆ circulation = chaussée bidirectionnelle 2x3m
- ┆ emprise = 40.00m
- ┆ caniveaux de part et d'autre de la chaussée : fossés triangulaires
- ┆ pente transversale route en terre = 3%
- ┆ pente des talus : 2V/3H
- ┆ protection contre érosion : perrés maçonnés, enrochements, gabions

b- Calcul de dévers

Le déversement des chaussées traduit l'inclinaison de la chaussée en profil en travers par rapport à l'horizontale. La route faisant l'objet de notre étude sera déversée pour les raisons suivantes :

- ┆ en alignement droit, un angle de déversement de faible valeur permet l'évacuation de l'eau de pluie sur les accotements et bordures des chaussées ;
- ┆ en courbe, le déversement de la chaussée vers l'intérieur de la courbe a pour effet de faire jouer à la pesanteur un rôle actif. Compte tenu du fait que les conducteurs exagèrent avec la vitesse en campagne, la route sera déversée pour leur éviter le déguerpissement.

Soit d le dévers de la partie circulaire, chaque catégorie de la route possède son dévers par la formule $d = 7 x \frac{RH' - RH}{RH' - RHm}$ exprimé en pourcentage (%). (*annexe 6*)

5.3. Etude de la sécurité et de la signalisation routière

Cette étude devra permettre l'amélioration de la signalisation et de la sécurité routière. Ceci se fera à travers les équipements de sécurité identifiés et mis en œuvre judicieusement le long des routes. Il s'agit notamment des signalisations horizontale et verticale et d'autres équipements divers tels les glissières de sécurité et les balises indispensables dans des points singuliers du tracé tels que les virages dangereux. Cette signalisation respecte l'instruction interministérielle sur la signalisation routière française- édition novembre 2008.

5.3.1. Signalisation horizontale

Étant donné que l'axe routier en projet est en terre, aucune signalisation horizontale ne sera réalisée.

5.3.2. Signalisation verticale

Les équipements doivent être aussi bien visibles de jour comme de nuit. La signalisation verticale permanente qui sera mise en place à l'achèvement des travaux concernera l'implantation des panneaux tels que :

- ✚ les panneaux A1a, A1b, A1c et A1d dans les virages dangereux ;
- ✚ le panneau E32 indiquant le cours d'eau franchi.

5.3.3. Glissières de sécurité

Des glissières de sécurité sont préconisées pour éviter les collisions avec des obstacles. Elles seront prévues notamment :

- ✚ dans les sections en remblai, quand la hauteur de celui-ci ou l'inclinaison des talus présentent un danger évident (en général plus de 3 m sur au moins 30 ml) ;
- ✚ au niveau de l'ouvrage d'art ;
- ✚ dans les courbes de rayon inférieur au rayon minimal normal

5.4. Etudes géotechniques

Ces études ont consisté à des reconnaissances géotechniques à travers la réalisation de puits à ciel ouvert sur les sites des ouvrages à la recherche de gîtes d'emprunt pour matériaux de remblai et couche de roulement. Trois sites d'emprunt ont été identifiés pour matériaux de remblai et deux sites d'emprunt de graveleux latéritique ont été identifiés et soumis aux essais d'identification et Proctor/CBR pour couche de roulement.

Tableau 4: sondage par puits à ciel ouvert

<p><u>Puits P1</u> : dans le lit de la rivière</p> <p>0.00 - 0.80m : dépôt alluvionnaire</p> <p>0.80 - 3.00m : sable argileux induré</p> <p><u>Puits P2</u> : rive droite sur la berge</p> <p>0.00 - 0.60m : limon sableux fin</p> <p>0.6 - 1.20m : sable limoneux fin</p> <p>1.2 - 1.70m : argile sableuse blanchâtre</p> <p>1.7 – 3.00m : sable fin peu argileux</p>
--

Tableau 5: emprunts pour couche de roulement

N° Emprunt	Distance morte (m)	Volume (m ³)	Analyse granulométrique (NF P 94-056) passant %				Limites d'Atterberg (NF P 94-051)		Proctor modifié (NF P 94-093)		CBR à 95% OPM (NF P 94-078)
			80 μm	0.400mm	2mm	10mm	WL	Ip	Wopm(%)	γdopm	
Emprunt 1Z	2710	21000	14	20	29	91,5	30	14	6.5	2.17	32
Emprunt 3Z	3380	12250	13	18	24	86	28	13	7.0	2.2	33

Interprétation des résultats

La Classification suivant la méthode **AASHTO** nous a permis de décrire les emprunts pour la couche de roulement comme étant des sols de type A-2(0). Les sols de type A-2 sont des sols granulaires avec une quantité considérable de fines (silt et argile).

Avec les courbes de compactage **Proctor**, nous pouvons déterminer les valeurs optimales du poids spécifique et les valeurs maximales de la densité sèche de chaque sol. Ces valeurs par la suite nous ont permis d'évaluer la portance des sols à un taux de compacité fixé. Dans la présente il est prévu un taux de compacité de 95% du *Proctor modifié* pour les sols.

Ainsi la densité sèche correspondante à la compacité est obtenue par l'expression **CR = densité sèche/ densité maximale**. Cette densité sèche déterminée est ensuite projetée sur la

courbe « **Essai de Portance** » pour finalement déterminer le CBR du sol en question. Comme présenter dans le tableau 6 ci-dessous.

Il ressort que les emprunts possèdent un CBR supérieur à 30. *Ceci permet donc de les classer parmi les sols de type S5.*

Tableau 6: classification des sols en place

Classe portant des sols	
S1	CBR < 5
S2	5 < CBR < 10
S3	10 < CBR < 15
S4	15 < CBR < 30
S5	CBR > 30

5.5. Dimensionnement des structures de chaussées

Le présent paragraphe propose des structures de chaussée pouvant être mises en œuvre sur l'axe routier en terre. Afin de justifier les structures de chaussée proposées, la méthode utilisée sera celle des abaques du C.E.B.T.P dans le guide de dimensionnement des chaussées dans les pays tropicaux, Edition 1984.

Cette méthode permet la détermination de l'épaisseur minimale de matériau nécessaire pour éviter le poinçonnement du sol de la plateforme. A cette épaisseur s'ajoute la surépaisseur utile en fonction des rechargements périodiques pour parer à l'usure due au trafic.

- durée de vie de la route : 5ans
- charge maximum à l'essieu 13tonnes

Tableau 7: typologie des véhicules comptés

Moyens intermédiaires de transport	Charrettes, Motocyclettes, bicyclettes
Véhicules légers	Voitures particuliers, camionnettes, véhicules tout terrain et mini-bus
Poids lourds	Bus, cars, autocars, camions à 2 et 3 essieux, camions remorques, semi-remorques

5.5.1. Calcul du Trafic

Sur la base de l'évolution démographique et agricole de la zone un taux d'accroissement annuel moyen de 4% a été considéré pour le trafic routier entre 2011-2020. Le trafic en uvp sera obtenu par application d'un coefficient d'équivalence de 2 sur les véhicules poids lourds. Pour le calcul des structures de chaussées, le trafic cumulé et le nombre cumulé d'essieux standards sont utilisables.

Tableau 8: résultats des enquêtes

	Horizon année de mise en service	Véhicules Légers	Véhicules Lourds	Trafic uvp	%trafic lourd
RD124	2013	24	14	52	53,8%

Taux d'accroissement $i = 4\%$

Trafic poids lourds 1^{ère} année: $T = TMJA \times (1 + i) (n) \times 30\% = 52 \times (1 + 0.04) 1 \times 0.30 = 16.22$

Trafic cumulé poids lourds $T_{pl} = 365 \times 0.3 \times 52 \times \frac{(1+0.04)^5-1}{0.04} = 30840.54$

Nombre d'essieux standards : $NE = 365 \times 16.22 \times \frac{(1+0.04)^5-1}{0.04} = 0.32 \times 10^5$

Au regard des calculs précédents, nous avons décidé de retenir la classe de trafic T1

Tableau 9: classes de trafics

Nombre d'essieux équivalents de 13 tonnes		
	T1	$< 5 \cdot 10^5$
$5 \cdot 10^5 <$	T2	$< 1,5 \cdot 10^6$
$1,5 \cdot 10^6 <$	T3	$< 4 \cdot 10^6$
$4 \cdot 10^6 <$	T4	$< 10^7$
$10^7 <$	T5	$2 \cdot < 10^7$

5.5.2. Détermination de l'épaisseur minimale de la couche de roulement

L'épaisseur dépend du CBR de plateforme et du trafic prévu. Le C.E.B.T.P recommande un CBR de 20 pour un trafic lourd inférieur à 30 véhicules/jour. En fonction de ce CBR et conformément au tableau 7 ci-dessus, le sol de plateforme à mettre en œuvre doit être de type S4.

La formule de Peltier permet d'obtenir l'épaisseur minimale (en cm) en fonction du CBR corrigé du sol de plateforme, du volume journalier (N) de trafic poids lourds de plus de 3 tonnes et de l'essieu (P) de 13 tonnes.

Étant donné qu'une certaine plastification du sol est admise, nous adopterons un CBR supérieur à celui retenu en fonction du trafic. Pour ce faire nous exploiterons le diagramme de l'essai CBR, en traçant l'asymptote à la courbe effort-déformation qui fournit la charge de rupture. Le CBR ainsi calculé pour un enfoncement de 2.5 mm, à partir de la pression égale à la moitié de la contrainte de rupture est équivalent au CBR corrigé utilisé pour la détermination de l'épaisseur minimale.

$$e = \frac{100 + (75 + 50 \log \frac{N}{10}) \sqrt{P}}{CBR + 5}$$

e = épaisseur en cm

N = nombre de poids lourds de plus de 3 tonnes par jour

P = poids de la roue maximale en tonnes (ou de 2 roues jumelées)

Tableau 10: résultats de calcul de l'épaisseur minimale

Tronçon	Trafic N	Charge à l'essieu P	CBR corrigé	Epaisseur minimale
RD124	14	13 tonnes	43	12

5.5.3. Détermination de l'épaisseur d'usure

L'épaisseur correspondant à l'usure annuelle est calculée de deux façons dans le guide C.E.B.T.P :

- une première méthode issue de l'observation permet de déterminer l'usure en fonction du trafic.

Tableau 11: usure annuelle en fonction du trafic

Trafic (véhicules/jour)	Usure annuelle
10-30	1cm
30-100	2cm
100-300	3cm

- la seconde méthode issue de la commission économique des Nations Unies pour l'Afrique, prend en compte la pluviométrie, le type de matériaux, le trafic et les pentes longitudinales et utilise la formule ci-dessous pour l'estimation de la couche d'usure :

$$GLA = f \times \left(\frac{TA^2}{TA^2 + 50} \right) \times (4.2 + 0.092TA + 3.5RL^2 + 1.88VC)$$

GLA : perte moyenne annuelle de gravier en mm

$$f \text{ en mm } \begin{cases} = 0.94 \text{ pour gravier latéritique} \\ = 1.10 \text{ gravier quartzique} \\ = 0.7 \text{ gravier volcanique} \\ = 1.5 \text{ gravier corallien} \end{cases}$$

- TA = trafic annuel dans les deux directions en milliers de véhicules
- RL= pluviométrie annuelle en m
- VC = pente (m/km)

Tableau 12: usure par la méthode de la commission des Nations Unies

f	TA	RL (m)	VC (m/km)	GLA (cm)
0.94	52	0.873	0.03	1.1

L'estimation de la couche d'usure annuelle sera prise égale à 1cm. L'épaisseur finale d'usure est conditionnée par la politique d'entretien et le coût d'objectif de l'aménagement.

5.5.4. Epaisseur totale de la chaussée

L'épaisseur *Ech* de la chaussée adoptée est obtenue en additionnant l'épaisseur minimale (*e*) au produit de l'épaisseur (GLA) d'usure annuelle et du nombre d'années (*n*) avant le premier rechargement (entretien périodique) soit $Ech = e + GLA \times n$

La politique d'entretien des pistes rurales du Burkina Faso fixe une durée de 5 ans pour le premier rechargement. Ainsi, l'application de la formule ci-dessus permet dans les cas le plus optimistes d'avoir une couche de roulement totale de 20 cm de matériaux graveleux latéritique.

Structure de chaussée

Au regard du faible trafic poids lourds enregistré sur cet axe, des calculs effectués, cette structure est constituée d'une couche de roulement de 20 cm en graveleux latéritique posée sur une couche de forme de 30 cm d'épaisseur et un remblai de hauteur variable mais suffisante pour la mise hors d'eau de la route.

Pour que les épaisseurs des couches soient retenues les contraintes dans ces couches doivent être inférieures à la contrainte admissible. Une vérification des contraintes des couches a été ensuite effectuée avec le Logiciel *ALIZE LCPC* dans le but d'apprécier leur évolution sur la fibre inférieure et supérieure par rapport à la contrainte admissible. Les résultats sont présentés en deux variantes pour deux choix de modules statique (E) par couche.

Le premier choix de module est celui proposé par le Logiciel en fonction du type de matériau choisi. La seconde variante est obtenue en appliquant la formule du guide de dimensionnement $E = 30CBR$ (pour les matériaux à fraction fine importante).

Il en résulte des résultats (*annexe4*) que les contraintes de la seconde variante sont bien inférieures à la contrainte admissible comme indiquée dans notre hypothèse de départ.

5.6. Etude hydrologique

L'étude hydrologique a pour objectif l'estimation du débit de la crue au niveau du site d'implantation de l'O.A. Pour ce projet nous avons adopté l'approche par les méthodes déterministes pour l'évaluation du débit de projet : *CIEH et ORSTOM* par manque de données hydrométriques. Les données de pluviométrie mensuelle et journalière ont été fournies par la direction de la météo nationale et concernent les périodes d'observation s'étalant sur au moins 30 ans.

Tableau 13: données de pluie

Station de référence	Site	Pan (mm)	P10 (mm)
Boromo	RD124 Zawara	873	104

Méthode CIEH

La méthode est présentée sous forme de formule de corrélation linéaire entre les différents paramètres. En fonction de la zone climatique dans laquelle s'inscrit le B.V concerné, des abaques A, B, C, D utilisant la superficie, le coefficient de ruissellement décennal, indice global de pente et la pluie annuelle sont explicités pour l'estimation de débit. Pour plus de précision il a été utilisé des formules à deux et trois paramètres qui sont la base de l'établissement des abaques spécifique du Burkina Faso. Les équations utilisées sont n° 39 et 40.

$$Q_{10} = a x S^s x P_{an}^p x I_g^i x K r_{10}^k x D d^d$$

Q_{10} : débit de crue décennal (m³/s)

Pan : pluie annuelle moyenne (mm)

Kr_{10} : coefficient de ruissellement décennal (%)

S : superficie du bassin versant (km²)

I_g : indice globale de pente m/km

Dd : densité de drainage

a, k, s, d, p, i : coefficients à déterminer

$$n^{\circ} 39 : Q_{10} = 0.41 x s^{0.425} x kr^{0.923}$$

$$n^{\circ} 40 : Q_{10} = 0.254 x s^{0.462} x ig^{0.101} x kr^{0.976}$$

r^2 et n élevées

r = coefficient de corrélation

n = nombre d'échantillon

Méthode ORSTOM

$$Q_{10} = \frac{m \times A \times \alpha \times P_{10} \times K_{r10} \times S}{T_b}$$

Q : débit maximum décennal en m³/s

m : coefficient majorateur découlement prenant en compte le débit découlement retardé estimé à 1.12 au regard de la perméabilité des bassins, il prend en compte l'état d'humectation du sol, antérieurement à la survenue de la crue du projet

A : coefficient d'abattement

P₁₀ : précipitation décennale ponctuelle journalière

K_{r10} coefficient de ruissèlement décennal

S : superficie en km²

T_b : temps de base en seconde

Méthode de GRADEX

Connaissant le débit décennal, par la méthode de **GRADEX** on évalue le débit centennal. Et pour finir le débit quinquennal est obtenu par interpolation entre le débit décennal et centennal.

$$Q_{100} = C \times Q_{10} \text{ avec } C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{(T_b/24)^{0.12}}{K_{r10}}$$

K_{r10} = coefficient de ruissellement de la crue décennale

T_b = temps de base en heures

P₁₀ et P₁₀₀ = pluie journalière de fréquence décennale et centennale (mm)

5.7. Etude hydraulique

5.7.1. Détermination du débit capable de l'ouvrage projeté

La coupe transversale du bassin réalisée au droit de l'ouvrage projeté après les levés topographiques a permis de déterminer les paramètres hydrauliques et le débit capable de la section obtenue. Pour le calcul du débit capable, nous avons assimilé le lit du bassin à un canal trapézoïdal, puis nous avons déterminé le débit par le biais de la formule de **Manning-Strickler**.

$$Q = K \times S \times R^{2/3} \times i^{1/2}$$

Q : débit capable d'être évacuer par l'ouvrage en m³/s

K : coefficient de rugosité

S : section mouillée

R : rayon hydraulique

I : pente longitudinale

Le tableau suivant illustre les résultats obtenus :

Tableau 14 : résumé du calcul hydraulique de la section du lit

Paramètres	Valeurs
Largeur au plafond (m)	10
Fruit des berges	0.25
Section mouillée (m ²)	40.56
Périmètre mouillé(m)	10.52
Rayon hydraulique(m)	3.86
Coefficient de rugosité	33
Pente longitudinale (%)	0.3
Q capable (m ³ /s)	180.40

Le débit capable étant supérieur au débit quinquennal, il sera retenu comme débit de projet le débit quinquennal pour le dimensionnement de l'ouvrage de franchissement.

5.7.2. Assainissement de la Chaussée

Une route subit des risques d'érosion dus aux eaux de ruissellement. Les protections contre ces dégradations peuvent être :

- directes : rectification régulière des surfaces érodées
- indirectes : localisation du ruissellement pour écouler les eaux sans dégât : système d'assainissement

On distinguera des descentes d'eau, des fossés triangulaires des deux côtés de la route dont les pentes des talus sont 2/3 et 3/2. (*annexe 8*)

Capacités des fossés : Les débits des fossés sont donnés par la formule de **MANNING STRICKLER**. Ainsi pour une vitesse admissible de 1.50 m/s on obtient une capacité maximale de $Q_{\max} = 3.3 \text{ m}^3/\text{s}$

Tableau 15: capacité des fossés de drainage

K	R(m)	i (m/m)	Qmax (m ³ /s)
33	0.52	0.005	3.3

6. JUSTIFICATION ET CHOIX DE TYPE D'OUVRAGE

La conception d'un pont résulte, le plus souvent d'une démarche itérative dont l'objectif est l'optimisation technique et économique de l'ouvrage de franchissement projeté vis-à-vis de l'ensemble des contraintes naturelles et fonctionnelles imposées, tout en intégrant un certain nombre d'exigence de durabilité et de qualité architecturale ou paysagère. Cette démarche comprendra trois étapes :

- le recueil des données fonctionnelles et naturelles relatives à l'ouvrage ;
- le choix d'une structure répondant aux exigences techniques, esthétiques et économiques ;
- l'étude de détail de la solution retenue.

Les différentes variantes d'ouvrages proposées

Variante I : Pont Cadre PDCF

C'est un tube rectangulaire constitué d'une traverse encastrée sur deux piédroits, eux-mêmes encastrés sur un radier de fondation. Une solution qui convient bien dans le cas d'un remblai de faible hauteur, est celle du pont-cadre en béton armé, complété par des murs en ailes. Le domaine d'emploi du cadre fermé couvre des ouvertures allant de 4 à 12m environ.

La structure monolithique assure les fonctions de :

- ✚ fondation : radier, également appelé traverse inférieure ;
- ✚ appui et de soutien des terres : piédroits ;
- ✚ tablier : traverse supérieure

Avantages :

Cette solution est souvent plus économique qu'une simple dalle en travée indépendante, nécessitant des culées plus coûteuses que les piédroits d'un portique. L'exécution des ponts-cadres ne pose pas de problème particulier à conditions de respecter quelques règles élémentaires de bonne construction et en particulier le remblaiement symétrique des piédroits avec de matériaux de bonne qualité, compactés à l'aide de moyens adaptés.

Inconvénients :

Sous l'effet des charges, le tablier a tendance à se déformer, provoquant la déformation des piédroits, qui ont tendance à repousser les remblais.

Variante II : Pont à poutre en béton précontraint VIPP

Dans une gamme de portées comparable à celle de ponts-dalles, les travées formées de poutres précontraintes peuvent se révéler d'un emploi économique. Elles couvrent une gamme de portées déterminantes assez étendue, allant de 15 à 30m environ, et se mettent en œuvre aisément en laissant dégagée la voie franchie. Ils sont bien adaptés aux franchissements droits et rectilignes, présentent une solution intéressante lorsque la voie portée est courbe, ou de largeur variable. Cependant, ces poutres sont moins robustes qu'une dalle massive vis-à-vis d'un choc accidentel de camion hors gabarit: il convient d'en tenir compte si l'on craint des chocs de véhicules.

Avantages :

- ✚ possibilités de préfabrication des poutres présentent une grande simplicité de conception (absence d'efforts parasites dus au fluage du béton), rapidité d'exécution.
- ✚ économie de matière (béton et acier)

Inconvénients :

- ✚ tablier épais (peu esthétique)
- ✚ nécessite plus de main d'œuvre

Tableau 16 : analyse comparative

Critères	Pont Cadre	Pont à poutre en béton précontraint
Esthétique	Assez bonne esthétique	Peu esthétique
Technique de réalisation	Le radier est coulé en première phase sur un béton de propreté, les piédroits coulés en deuxième phase soutiennent les terres et font office de culées incorporées. Ils portent la traverse supérieure coulée en troisième phase qui constitue le tablier.	Les poutres peuvent être coulées en place sur une poutre métallique aérienne ou au sol sur des remblais d'accès à l'ouvrage. Les ennuis et incidents peuvent rapidement apparaître, si l'on ne se méfie pas suffisamment. Il faut que l'aire de préfabrication soit suffisamment stable. On va amener dans le coffrage une masse importante de béton frais dont le poids, ajouté à celui du coffrage demande un béton très sec avec des slumps de l'ordre de 5 à 8. Les moyens de vibration doivent être adaptés au coffrage, lui-même adapté à la forme des poutres. La mise en tension des câbles s'effectue au moyen des

		outils appropriés : grues, poutre de lancement etc... L'ensemble de ces manœuvres est délicat et nécessite du matériel approprié.
Coût	Le pont cadre est une solution plus économique qu'une simple dalle en travée indépendante.	Les poutres étant en acier, le tablier n'est, par conséquent, pas économique, mais le nombre réduit d'appuis intermédiaires atténue légèrement le coût global de l'ouvrage. Toutefois, l'ouvrage reste relativement coûteux.
Délai de réalisation	Le délai de réalisation est réduit, car l'exécution ne pose pas de problème particulier.	Le délai de réalisation est réduit, car il est possible de rendre indépendante la fabrication de la charpente métallique du reste des travaux.
Main d'œuvre	La construction de l'ouvrage nécessite une main d'œuvre nombreuse et qualifiée	La construction de l'ouvrage nécessite une main d'œuvre peu nombreuse dont une partie spécialisée (maîtrise des opérations d'assemblage et de mise en place de la charpente métallique)

Au regard des avantages, des inconvénients et des études comparatives, nous retenons le pont-cadre comme variante de pont à réaliser au droit du franchissement du fleuve Bolo.

7. DIMENSIONNEMENT DU PROJET D'EXECUTION

Le dimensionnement des dalots sera effectué par : les méthodes du BCEOM (exposées dans l'hydraulique routière-BCEOM 1981). Prenant en compte les indications sur les niveaux d'eau maximums observés nous avons proposé de dimensionner le dalot à sortie noyée.

La connaissance de la côte naturelle de l'eau à l'amont et l'aval au droit du franchissement permet la détermination du PHE nécessaire pour le calage de l'ouvrage. Ces données sont obtenues sur la base des enquêtes effectuées sur le terrain.

La côte finale d'implantation de l'ouvrage = côte PHE + surélévation + revanche

- ✚ PHE = côte d'eau avale
- ✚ surélévation $\Delta H = \text{côte amont} - \text{côte avale}$
- ✚ revanche $R = 0,5 + \sqrt{L}/3$, L = ouverture du dalot en Km

7.1. Dimensionnement hydraulique du dalot

La crue à évacuer $Q_{50} = 142.83 \text{ m}^3/\text{s}$

- ✚ vitesse maximale admissible, $V = 2 \text{ m/s}$
- ✚ section pour évacuer la crue, $S = Q_{50} / v = 142.86 / 3 = 71.42 \text{ m}^2$
- ✚ hauteur dalot choisie $D = 2.5 \text{ m}$
- ✚ largeur d'une ouverture choisie $B = 4 \text{ m}$
- ✚ largeur totale des passes, $L = S/D = 71.42 / 2.5 = 28.57 \text{ m}$
- ✚ nombre de passes $N = L / B = 28.57 / 4 = 7.14$ (pour une marge de sécurité on prend $N = 8$ passes)

La Vitesse réelle dans les passes V_p est déterminée avec la crue évacuée par passe Q_p

$$Q_p = Q_c / 8 = 142.83 / 8 = 17.85 \text{ m}^3/\text{s}, V_p = 17.85 / (2.5 \times 4) = 1.78 \text{ m/s}$$

Cette vitesse est supérieure à la vitesse minimale (0.5 m/s) et inférieure à la vitesse maximale (2.00 m/s) et cela évite l'érosion des berges et le dépôt de matériaux en suspension dans le site de l'ouvrage. Nous retenons ainsi un dalot de 8 x 4 x 2.5.

7.2. Calcul du dalot

Prédimensionnement du dalot

➤ Épaisseur du tablier-piédroit-radier

L'épaisseur est obtenue par l'expression : $es = \sup (0.30 ; L/32 + 0.125)$, pour une ouverture de dalot $L = 4m$ on a $es = 0.30m$

➤ Gousset

Étant donné que le prédimensionnement a donné des dalots d'une ouverture de 4m chacun, nous retiendrons donc pour gousset supérieur $a \times b = 0.3 \times 0.3$ et pour gousset inférieur $a \times b = 0.3 \times 0.3$.

Tableau 17: dimensions du gousset

Ouverture	Gousset supérieur (axb)	Gousset inférieur (axb)
2 - 4m	0.2 x 0.2 à 0.3 x 0.3	0.2 x 0.2 à 0.4 x 0.4
> 4m	0.3 x 0.3 à 0.4 x 0.4	0.4 x 0.4 à 0.5 x 0.5

Tableau 18: paramètres de dimensionnement de l'ouvrage

Site de l'ouvrage	Débit Q50 (m ³ /s)	dimensions			Paramètres de dimensionnement								
		n	B	H	Débit unitaire q (m ³ /s/cellule)	Largeur transversale dalot(m)	Dh (m)	Côte TN(m)	Niveau d'eau aval (m)	Niveau d'eau amont (m)	Côte ligne rouge (m)	Revanche	Vitesse (m/s)
Site de Zawara	142.83	8	4	2.5	17.85	10	0.24	293.8	296.5	296.74	297.26	0.52	1.79

Description de l'ouvrage

- ✚ épaisseur du tablier = 0.30m
- ✚ épaisseur du radier = 0.30m
- ✚ épaisseur des piédroits = 0.30m
- ✚ dimensions intérieures d'une cellule = 4 x 2.5 m
- ✚ portée isostatique du tablier = 4.30m
- ✚ une chape d'étanchéité de 3cm d'épaisseur.

La pente longitudinale sur l'ouvrage fait 0.5%

La plateforme fait 10m de largeur et comprend :

- ✚ une chaussée de 7m de largeur présentant une pente transversale en toit de 3%
- ✚ deux trottoirs de 1.5m chacun
- ✚ des guides roues
- ✚ des garde-corps

Un joint de dilation (pour éviter les fissurations du béton dues au retrait, aux variations thermiques) subdivise le dalot en deux parties symétriques de 17.5m de long. Des goussets sont prévus aux jonctions traverses-piédroits et à résorber les concentrations de contraintes. De plus, la réaction élastique du sol sur les piédroits conduits à une augmentation des moments négatifs à l'encastrement traverse-piédroit ; les goussets permettent la reprise de ces efforts non pris en compte dans le calcul.

Hypothèses de calcul

Matériaux

Béton

- classe du béton = B30
- dosage = 400 kg/m³
- résistance à la compression $f_{c28} = 30$ MPa
- résistance à la traction $f_{t28} = 0.6 + 0.06f_{c28} = 2.4$ MPa
- densité $\gamma_b = 2.5$ t/m³
- la fissuration est préjudiciable
- contrainte limite du béton : $\sigma_b = 0.6 \times f_{c28} = 0.6 \times 30 = \mathbf{18}$ MPa

Acier

- acier de Haute Adhérence (HA) FE 400
- enrobage = 3 cm
- $\sigma_s = \varepsilon = \min \{ 2/3 \times f_e; \max (0.5 \times f_e; 110\sqrt{\eta}f_{t28}) \} = \mathbf{215,56}$ MPa

Granulats

Le diamètre du plus gros granulats est de 25 mm

Réglémentations

Le calcul est fait conformément à la réglementation française :

- Fascicule n° 61 : Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, Titre II - programmes de charges et épreuves des ponts et routes,
- Le calcul du ferrailage est effectué suivant les règles du BAEL 91 modifiés 99 aux états limites.

Terrain

Sol de fondation

- nature = sol sablo-limoneux
- module de réaction = 10000 t/m² (sol sablo-limoneux normalement consolidé)
- contrainte admissible suivant essais au pénétromètre dynamique = 2 kg/cm² à 0.80 m de profondeur. cette portance devra être reconstituée sur toutes les couches supérieures par purge des matériaux de mauvaise tenue et substitution par des matériaux de bonne tenue.
- coefficient de frottement terrain/fondation = 0.58

Remblais

- nature = graveleux latéritique
- poids volumique = 2 t/m³
- angle de transmission des charges = 45 degrés
- coefficient de poussée des terres k = 0.333
- hauteur remblai sur ouvrage = 0.50 m

Méthodes de calcul

- équation des trois moments
- « formulaire de cadres simples » de **KLEINLOGEL**

Données diverses

- largeur roulable $L_R = 7$ m
- largeur chargeable $L_C = L_R - 2 \times 0.5$ (existence de bordure) ; $L_C = 6$ m
- nombre de voies $n = (L_C/3) = 2$
- largeur d'une voie $v = L_R/n$, soit $v = 3.5$ m
- $L_R = 7$ m, pont de 1^{ère} classe

Tableau 19: classe de pont

Largeur roulable	Classe
≥ 7 m	1
Entre 5.5 et 7m	2
≤ 5.5 m	3

Les charges routières prises en compte dans le calcul de l'ouvrage sont les charges A, B (B_C , B_t , B_r). Nous avons choisi le sous-système B_c pour le système de charge du type B. Nous justifions ce choix par le fait que, les charges routières du sous-système B_c , induisent des efforts de freinage et dans le cas échéant, des forces centrifuges. En général, c'est le freinage associé au système B (conduisant à un effort horizontal de 300 KN correspondant au freinage d'un seul camion) qui est le plus défavorable, d'où le choix du sous-système B_c .

Le système B_r étant une charge ponctuelle, il servira à vérifier le poinçonnement du tablier.

➤ Charges de type A

Les charges de type A sont des charges uniformément réparties sur la voie chargée. La charge A est donnée en fonction de la longueur chargée L par l'expression : $A(l) = 230 + \frac{36000}{l+12}$ (kg/m^2) avec $L = \max(L_R ; L_t)$

La valeur obtenue est multipliée par les coefficients a_1 et a_2 .

Tableau 20: valeurs du coefficient a_1

Nombre de voies chargées	1	2	3	4	> 4
Classe 1	1	1	0.9	0.75	0.70
Classe 2	1	0.9	-	-	-
Classe 3	0.9	0.8	-	-	-

Nous prendrons $a_1=1$ pour les deux voies chargées.

La valeur de a_2 est obtenue par l'expression : $a_2 = \frac{v_0}{v}$ et les valeurs de v_0 sont données par le tableau suivant :

Tableau 21: valeurs de v_0

Classe	Valeur de v_0
1	3.5
2	3
3	2.75

Nous retenons $v_0= 3.5m$, d'où $a_2=1$; $A(l)$ pondérée par les coefficients a_1 et a_2 donne $A_2 = 2.12 t/ml$

➤ **Charge routière Bc**

Le camion type du système Bc a une masse totale de 30 tonnes :

- la masse portée par chacun des essieux arrière est de 12 tonnes
- la masse portée par l'essieu avant est de 6 tonnes
- la surface d'impact d'une roue arrière est de 0,25 x 0,25 m²
- la surface d'impact d'une roue avant est de 0,20 x 0,20 m²
- on peut disposer transversalement sur la chaussée autant de files de camions Bc que la chaussée comporte de voies de circulation et longitudinalement le nombre de camions par file est limité à 2.
- les charges Bc sont pondérées par les coefficients δ et $b_c = 1,10$.

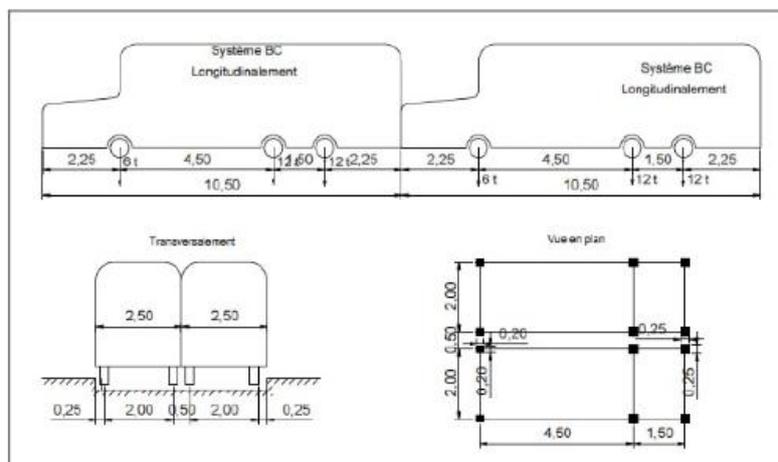


Figure 1: système de charge Bc

Tableau 22: valeurs du coefficient b_c

Nombre de voies chargées		1	2	3	4	>4
Classe	1	1.2	1.1	0.95	0.8	0.70
	2	1	1	-	-	-
	3	1	0.8	-	-	-

➤ **Charge routière Bt**

Le système Bt ne s'applique qu'aux ponts de la 1^{ère} et de la 2^{ème} classe. Il convient de respecter les règlements suivants :

- dans le sens longitudinal, un seul tandem est disposé par file,
- dans le sens transversal, un seul tandem est supposé circuler sur les ponts à une voie, alors que pour les ponts supportant deux voies ou plus, on ne peut placer que deux tandems au plus sur la chaussée, côte à côte ou non, de manière à obtenir l'effet le plus défavorable.

Les charges sont affectées d'un coefficient de pondération bt.

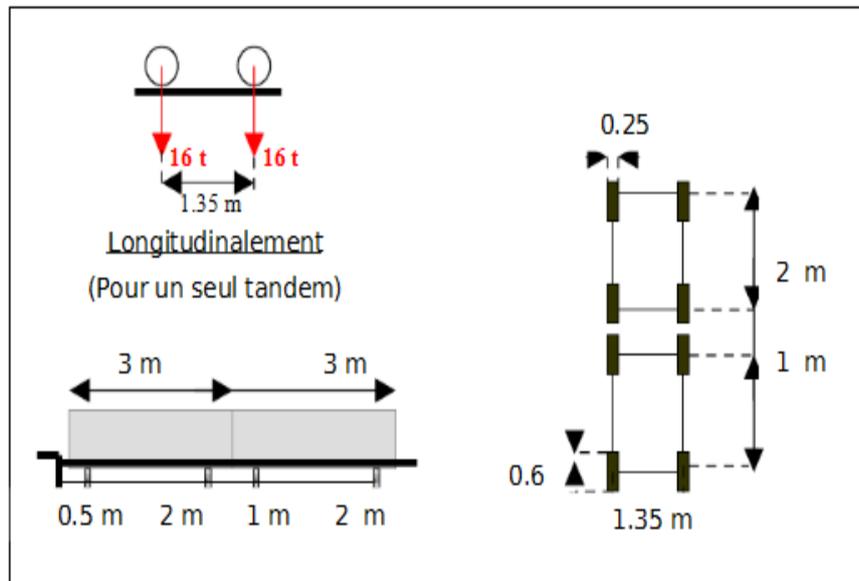


Figure 2 : système de charge Bt

Tableau 23: valeurs du coefficient bt

Classe de pont	1	2
Coefficient bt	1	0.90

➤ Charge routière Br

C'est une roue isolée disposée normalement à l'axe longitudinale de la chaussée. Le rectangle d'impact de la roue peut être placé n'importe où sur la largeur roulable de manière à produire l'effet le plus défavorable. Les charges sont affectées du même coefficient de pondération bt.

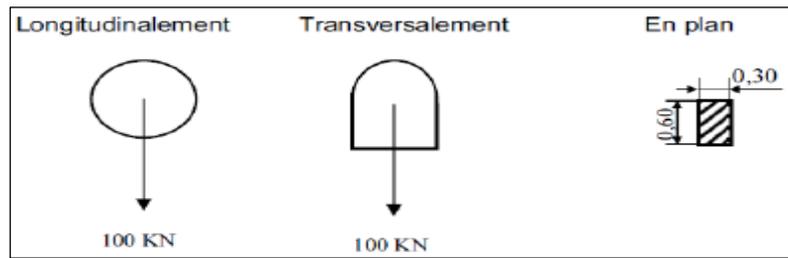


Figure 3 : système de charge Br

➤ **Coefficient de majoration dynamique**

Les charges du système B sont des surcharges roulantes et par conséquent doivent être multipliées par un coefficient de majoration pour effet dynamique. Il est déterminé à partir de la formule : $\delta = 1 + 0.4/(1+0.2L) + 0.6/(1+4G/S)$

Avec :

- $L = \max (L_R ; \text{Portée du tablier}) = \max (7 ; 4.30) = 7 \text{ m}$
- G , poids total d'une section du tablier de longueur 'L' et de toute la largeur y compris les superstructures éventuelles.
- S , le poids total des essieux du système B qu'il est possible de disposer sur la longueur L majoré d'un coefficient bc ou bt.

➤ **Charges sur les remblais**

En vue de la justification des éléments (piédroits de rives) susceptibles d'être soumis à des efforts de la part des remblais d'accès au pont, on considère que ces remblais sont susceptibles de recevoir une charge de 1t/m^2 , répartie sur toute la largeur de la plate-forme.

➤ **Effort de freinage**

Les charges des systèmes A et Bc sont susceptibles de développer des réactions de freinage s'exerçant à la surface de la chaussée dans l'un ou l'autre sens de la circulation.

7.2.1 Equation des trois moments : dalot 4 ouvertures

➤ **Moments sur appuis**

L'équation des trois moments pour un nœud 2 entouré par les poutres 1,2 et 2,3 s'écrit : $M_1L_{1,2} + 2M_2(L_{1,2} + L_{2,3}) + M_3L_{2,3} = -6x (A_{1,2} d_{1,2}/L_{1,2} + A_{2,3} C_{2,3}/L_{2,3})$ avec $A = \int_0^L M(x)dx$; $C = d = L/2$

L'application de cette équation à notre structure donne :

- Nœud B: $M_A + 4 \times M_B + M_C = - \frac{pL^2}{2}$
- Nœud C: $M_B + 4 \times M_C + M_D = - \frac{pL^2}{2}$
- Nœud D: $M_C + 4 \times M_D + M_E = - \frac{pL^2}{2}$

La résolution des équations nous donne les moments sur les appuis ; pour y parvenir nous avons formulé l'écriture matricielle suivante : $\beta = \text{PRODUITMAT (INVERSEMAT (PRODUITMAT (TRANSPONSE(X) ; X)) ; \text{PRODUITMAT (TRANSPONSE(X) ; Y))}$

$$X = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 4 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} -\frac{pL^2}{2} \\ -\frac{pL^2}{2} \\ -\frac{pL^2}{2} \end{bmatrix} \quad \beta = \begin{bmatrix} M_B \\ M_C \\ M_D \end{bmatrix} \quad M_A = M_E = 0$$

➤ **Moments en travée**

Les moments en travée sont obtenus par l'application des formules suivantes :

$$M_{AB} = \frac{pL^2}{8} + \frac{M_A + M_B}{2} ; \quad M_{BC} = \frac{pL^2}{8} + \frac{M_C + M_B}{2} ; \quad M_{CD} = \frac{pL^2}{8} + \frac{M_C + M_D}{2} ; \quad M_{DE} = \frac{pL^2}{8} + \frac{M_D + M_E}{2}$$

➤ **Réactions**

La formulation de cinq équations ont permis la détermination des réactions connaissant les moments sur appuis. Ces équations sont les suivantes :

- $\sum Fy = 0 \quad \Rightarrow \quad R_A + R_B + R_C + R_E = 4pL$
- $\sum M/A = 0 \quad \Rightarrow \quad R_B + 2R_C + 3R_D + 4R_E = 8pL$
- $\sum M/B = 0 \quad \Rightarrow \quad R_A = \frac{M_B}{L} + \frac{pL}{2}$
- $\sum M/C = 0 \quad \Rightarrow \quad 2R_A + R_B = \frac{M_C}{L} + 2pL$
- $\sum M/E = 0 \quad \Rightarrow \quad R_E = \frac{M_D}{L} + \frac{pL}{2}$

La résolution de ces équations s'est effectuée par l'écriture matricielle : $\beta = \text{PRODUITMAT (INVERSEMAT (PRODUITMAT (TRANSPONSE(X) ; X)) ; \text{PRODUITMAT (TRANSPONSE(X) ; Y))}$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} Y = \begin{bmatrix} 4pL \\ 8pL \\ \frac{M_B}{L} + \frac{pL}{2} \\ \frac{M_C}{L} + 2pL \\ \frac{M_D}{L} + \frac{pL}{2} \end{bmatrix} \beta = \begin{bmatrix} R_A \\ R_B \\ R_C \\ R_D \\ R_E \end{bmatrix}$$

Evaluation des charges permanentes et surcharges routières

Charges permanentes

Au niveau du tablier

- poids propre du tablier = $0.3 \times 2.5 \times 1 = 0.75$ t/ml
- chape d'étanchéité de 3cm d'épaisseur avec une densité de $2.2 \text{ t/m}^3 = 0.03 \times 2.2 \times 1 = 0.07$ t/ml
- garde-corps de $25 \text{ kg/ml} = 0.025 \times 2 \times 1 = 0.05$ t/ml
- guides roue de dimensions $0.15 \times 0.25 = 2.5 \times 0.15 \times 0.25 \times 2 \times 4.3 / 7.6 = 0.11$ t/ml
- poids mort remblai = $2 \times 0.50 \times 1 = 1$ t/ml

Soit au total une charge permanente $g_1 = 1.98$ t/ml

Au niveau du radier

- poids propre du radier = $0.3 \times 2.5 \times 1 = 0.75$ t/ml
- charge totale sur tablier $g_1 = 1.98$ t/ml
- poids propre piédroits = $5 \times 2.5 \times 0.3 \times 2.5 / 17.5 = 0.54$ t/ml

Soit au total une charge permanente $g_2 = 3.27$ t/ml

Evaluation des surcharges routières

➤ Système Bc

Au niveau du tablier

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

$$\text{Charge répartie } q_1 = \frac{48 \times 1.1}{4.3 \times 5} = 2.46 \text{ t/m}^2$$

$$G = 4 \times 1.98 = 7.89 \text{ t}$$

$$S = 4 \times 2.46 = 9.82 \text{ t}$$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.31$ d'où une surcharge uniformément répartie q_{Bc}
 $= \delta \times q_1 = 1.31 \times 2.46 = 3.21 \text{ t/ml}$

Au niveau du radier

On considère deux (02) files de deux (02) essieux de 12 t soit 48 t

Charge répartie sur radier : $q_1 = \frac{48 \times 1.1}{17.5 \times 5} = 0.60 \text{ t/m}^2$

$G = 4 \times 3.27 = 13.03 \text{ t}$

$S = 4 \times 0.60 = 2.40 \text{ t}$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.19$ d'où une surcharge uniformément répartie q_{Bc}
 $= \delta \times q_1 = 1.19 \times 0.60 = 0.72 \text{ t/ml}$

➤ Système Bt

Au niveau du tablier

On peut disposer sur une travée, un (01) tandem dans le sens longitudinal, équivalent à deux (02) essieux de 16t chacun, soit 32 t.

Charge répartie $q_1 = \frac{32 \times 1.1}{4.3 \times 6} = 1.24 \text{ t/m}^2$

$G = 4 \times 1.98 = 7.98 \text{ t}$

$S = 4 \times 1.24 = 4.96 \text{ t}$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.25$ d'où une surcharge uniformément répartie q_{Bt}
 $= \delta \times q_1 = 1.25 \times 1.24 = 1.55 \text{ t/ml}$.

Au niveau du radier

On considère un (01) tandem dans le sens longitudinal, équivalent à deux (02) essieux de 16t chacun, soit 32t.

Charge répartie sur radier : $q_1 = \frac{32 \times 1.1}{17.5 \times 6} = 0.30 \text{ t/m}^2$

$G = 4 \times 1.98 = 7.89 \text{ t}$

$S = 4 \times 0.30 = 1.20 \text{ t}$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.18$ d'où une surcharge uniformément répartie q_{Bt}
 $= \delta \times q_1 = 1.18 \times 0.3 = 0.36 \text{ t/ml}$

➤ **Système Br**

On peut disposer une charge ponctuelle de 10 t de surface d'impact. Avec la méthode de BOUSINESSQ on détermine une surface d'impact = $(0.3 + 0.3/2 + 0.50) \times (0.6 + 0.3/2 + 0.50) = 1.187 \text{ m}^2$.

Au niveau du tablier

$$\text{Charge répartie } q_1 = \frac{10}{1.187} = 8.424 \text{ t/m}^2$$

$$G = 4 \times 1.98 = 7.89 \text{ t}$$

$$S = 10 \text{ t}$$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.31$ d'où une surcharge uniformément répartie $q_{Br} = \delta \times q_1 = 1.31 \times 8.42 = 11.04 \text{ t/ml}$

Au niveau du radier

$$\text{Charge répartie sur radier : } q_1 = \frac{10}{1.187} = 8.424 \text{ t/m}^2$$

$$G = 4 \times 1.98 = 7.89 \text{ t}$$

$$S = 10 \text{ t}$$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.50$ d'où une surcharge uniformément répartie $q_{Br} = \delta \times q_1 = 1.50 \times 8.42 = 12.60 \text{ t/ml}$

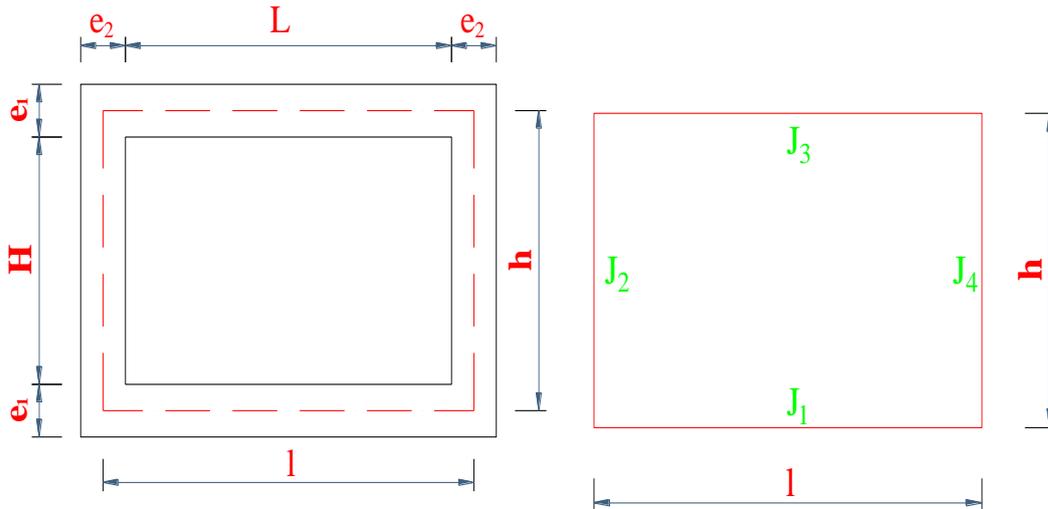
Tableau 24 : sections d'armatures du dalot à 4 ouvertures

Tablier					
Désignation	Moments (t.m/ml)	Sections d'aciers calculées A_s (cm^2/ml)	Choix des armatures	Armatures retenues	Espacement (cm)
Travée AB et DE	7.7	14.86	5HA20	5HA20	20
Travée BC et CD	3.8	7.09	5HA14	5HA20	20
Appui B et D	11.55	22.82	5HA17+5HA16	15HA14	7
Appui C	7.7	14.86	5HA20	15HA14	7
Radier					
Travée AB et DE	5.4	10.31	7HA14	7HA14	15
Travée BC et CD	2.72	5	7HA10	7HA14	15
Appui B et D	8.16	15.92	8HA16	8HA16	13
Appui C	5.4	10.31	7HA14	8HA16	13
Piédroits					

Piédroits A et E		22.03	7HA20	7HA20	15
Piédroits B, C et D		5.2	7HA10	7HA20	15

7.2.2. « Formulaire des cadres simples » de KLEINLOGEL : dalot à une ouverture

Schéma statique de calcul du cadre simple



- Hauteur entre fibres moyennes $h = H + e_1 = 2.5 + 0.3 = 2.8$ m
- Longueur entre fibres moyennes $l = L + e_2 = 4 + 0.3 = 4.3$ m

$$J_i = \frac{b_i \times E_i^3}{12} \quad \text{Inertie de l'élément } i \text{ avec : } b_i = 1.00 \text{ m}$$

E_i = Epaisseur de l'élément i ;

h = Hauteur entre fibres moyennes ;

l = Longueur entre fibres moyennes.

$$J_1 = \frac{1.00 \times 0.30^3}{12} = 2.25 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \quad ; \quad \mathbf{J_1 = J_2 = J_3 = J_4 = J_i = 2.25 \times 10^{-3} \text{ m}^4}$$

Définition des constantes

$$k_1 = \frac{J_3}{J_1} = \frac{0.002250}{0.002250} = 1 ;$$

$$k_2 = \frac{J_3}{J_2} \times \frac{h}{l} = 1 \times \frac{2.8}{4.3} = 0.651 ;$$

$$K_1 = 2k_2 + 3 = 2 \times 0.651 + 3 = 4.302 ;$$

$$K_2 = 3k_1 + 2k_2 = 3 \times 1 + 2 \times 0.651 = 4.302 ;$$

$$K_3 = 3k_2 + 1 - \frac{k_1}{5} = 3 \times 0.651 + 1 - \frac{1}{5} = 2.753 ;$$

$$K_4 = \frac{6k_1}{5} + 3k_2 = 6 \times \frac{1}{5} + 3 \times 0.651 = 3.153 ;$$

$$F_1 = K_1 K_2 - k_2^2 = 4.302 \times 4.302 - 0.651^2 = 18.086 ;$$

$$F_2 = 1 + k_1 + 6k_2 = 1 + 1 + 6 \times 0.651 = 5.907$$

Conventions de signes

Les moments fléchissant sont positifs quand ils provoquent de la traction dans la partie interne du cadre ;

- N_1 = Effort normal dans le radier ;
- N_{2a} = Effort normal dans le piédroit de gauche ;
- N_{2b} = Effort normal dans le piédroit de droite ;
- N_3 = 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.

Note explicative sur le ferrailage du dalot

Dans le souci de faciliter la mise en œuvre et d'assurer la résistance de notre dalot, nous avons décidé d'harmoniser les aciers au niveau des parties suivantes :

- ✓ *Le tablier : abouts et mi-travée*
- ✓ *Radier : abouts et mi-travée*
- ✓ *Les piédroits*

Ainsi, nous avons récapitulé tous ces éléments dans le tableau ci-dessous :

Tableau 25 : sections d'armatures du dalot à une ouverture

Eléments		Aciers calculés	Aciers retenus	Espacement (cm)
Tablier	Abouts B et C	16HA16	16HA16	7
	Mi-travée B-C	12HA14	12HA14	8
Radier	Abouts A et D	11HA16+7HA14	17HA16	7
	Mi-travée A-D	14HA14	14HA14	8
Piédroits	Travée C-D	6HA12	6HA12	16
	Travée A-B	5HA12	5HA12	20

✓ *Calcul des aciers de répartition*

Pour les dalles (nous considérons notre dalot comme une dalle), le diamètre des armatures de répartition est donné par la formule suivante :

$\Phi = 0.1 \times h_0 = 0.1 \times 0.3 = 0.03 \text{ cm}$, nous adoptons $\Phi = \mathbf{HA8}$

✓ *Calcul de l'espacement minimum des aciers*

L'espacement minimum est donné par la formule suivante, une fissuration préjudiciable :

$$St = \min (2h; 25\text{cm}) = \min (6 \text{ cm}; 25\text{cm}) = 6 \text{ cm}$$

Les sections d'armatures obtenues par la méthode de KLEINLOGEL sont plus importantes que celles obtenues par l'équation des trois moments.

Les moments sur appuis extrêmes par la méthode de KLEINLOGEL ne sont pas nuls contrairement à l'équation des trois moments

L'équation des trois moments (calcul individuel de chaque composante du dalot) par opposition à la méthode de KLEINLOGEL (calcul de la structure en bloc) se révèle peut adéquate face à d'importante force de freinage.

Pour finir nous avons retenu les sections d'armatures obtenues par la méthode de KLEINLOGEL pour réaliser le ferrailage (annexe7) et pour assurer une pérennité à notre structure.

Tableau 26 : sollicitations

			MA	M (A-B)	MB	M (B-C)	MC	M(C-D)	MD	M (A-D)	N(AD)	N(AB)	N(CD)	N(BC)
	Tablier	1	-18,477	-18,477	-18,477	27,286	-18,477	-18,477	-18,477	27,286	0,000	42,570	42,570	0,000
	Piédroits	2	-10,740	-4,557	1,626	1,626	1,626	-4,557	-10,740	11,835	4,416	21,000	21,000	-4,416
	Radier	3	-6,999	-6,999	-6,999	10,336	-6,999	-6,999	-6,999	10,336	0,000	16,125	16,125	0,000
	Poussée terre	4	-3,735	12,908	-3,300	-3,300	-3,300	12,908	-3,735	-3,735	23,621	0,000	0,000	14,608
	Charge Bc	5	-29,022	-29,022	-29,022	42,858	-29,022	-29,022	-29,022	42,858	0,000	66,865	66,865	0,000
	Remblai 1 coté	6	-4,191	2,336	2,336	-0,429	-3,194	0,070	3,333	-0,429	6,993	-1,286	1,286	2,331
	Freinage	7	-62,649	4,551	71,751	0,000	-71,751	-4,551	62,649	0,000	-48,000	-33,372	33,372	48,000
G	Charges Permanentes	1+2+3+4	-39,951	-17,125	-27,151	35,946	-27,151	-17,125	-39,951	45,721	28,037	79,695	79,695	10,191
	Charges Variables V2	5+6	-33,213	-26,686	-26,686	42,429	-32,216	-28,952	-25,689	42,429	6,993	65,579	68,151	2,331
	Charges Variables V3	5+7	-91,671	-24,471	42,729	42,858	-100,772	-33,572	33,628	42,858	-48,000	33,493	100,237	48,000
	Charges Variables V5	5+6+7	-95,862	-22,135	45,065	42,429	-103,966	-33,503	36,960	42,429	-41,007	32,207	101,523	50,331
Q	Max de charges variables		-95,862	-26,686	45,065	42,858	-103,966	-33,572	36,960	42,858	-48,000	65,579	101,523	50,331
	Sollicitation (ELS)		-154,986	-49,148	26,927	87,376	-151,910	-57,412	4,401	97,150	-29,563	158,390	201,523	70,589

7.3. Calcul du mur en aile

Les murs en aile sont calculés comme étant des murs de soutènement. Les murs supportent un terrain végétal ordinaire dont les caractéristiques sont :

- angle du talus naturel $\varphi = 45^\circ$
- poids spécifique des terres $\gamma = 14.5 \text{KN/m}^3$
- coefficient de poussée des terres $k_a = \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) = 0.17$
- surcharge routière sur le terrain 10KN/m^2

Prédimensionnement

- hauteur totale du mur (voile + semelle) $H = 3 \text{m}$
- épaisseurs $e_0 = e_1 = e_2 = H/12 = 0.25 \text{m}$
- largeur patin $b = H/8 = 0.375 \text{m}$
- largeur semelle $B = (0.2 + 0.45 \times H) \times 1.15 = 1.78 \text{m}$
- largeur talon $b' = B - b - e_1 = 1.16 \text{m}$

Les actions permanentes sont pondérées :

- par 1.35 pour les actions défavorables (poussées des terres)
- par 1 pour les actions favorables (poids du mur, poids des terres sur la semelle).

Les actions variables sont pondérées par 1.5

Inventaire des forces

- poussée des terres $P_t = \gamma \times H^2 \times k_a / 2 = 14.5 \times 3^2 \times 0.17 / 2 = 11.09 \text{KN/ml}$
- poussée des surcharges $P_c = q \times H \times k_a = 10 \times 3 \times 0.17 = 5.10 \text{KN/ml}$
- poids du voile $W_v = 25 \times (3 - 0.25) \times 0.25 = 17.19 \text{KN/ml}$
- poids de la semelle $W_s = 25 \times 0.25 \times 1.78 = 11.14 \text{KN/ml}$
- poids des terres sur patin $W_t = \gamma \times b' \times (H - e_1) = 14.5 \times 1.16 \times (3 - 0.25) = 46.16 \text{KN/ml}$
- surcharge sur talon $Q_c = q \times b' = 10 \times 1.16 = 11.6 \text{KN/ml}$

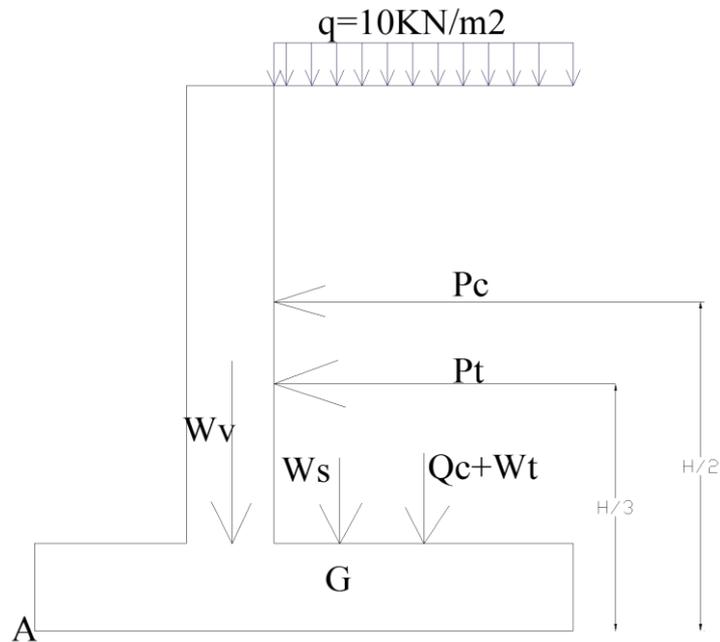


Tableau 27 : sections d'armatures du mur en aille

Désignation	Talon			Patin			Rideau		
	Sections calculées	Choix des armatures	Sections réelles	Sections calculées	Choix des armatures	Sections réelles	Sections calculées	Choix des armatures	Sections réelles
Armatures principales	10.24	7HA14 esp = 14cm	10.77	1.93	4HA8 esp = 25cm	2.01	3.12	4HA10 esp = 25cm	3.14
Armatures de répartitions	2.56	5HA8 esp = 20cm	2.712	3.04	2HA14 esp = 25cm	3.079	3.04	2HA14 esp = 25cm	3.079

Les détails des calculs sont générés sous forme d'une note calcul à l'annexe (**annexe5**).

8. ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX

Ces études consisteront à présenter les impacts positifs et négatifs de la construction de l'ouvrage de franchissement, de l'aménagement de la RD124, sur les milieux biophysique et humain. Les descriptions couvrent les impacts attendus durant les phases de préparation, de construction et d'exploitation de la route. Il sera par la suite présenté les mesures de bonification et d'atténuation proposées pour accroître les bénéfices en termes de coût-efficacité et/ou prévenir, minimiser, atténuer ou compenser les impacts négatifs, ainsi que le programme de suivi. Le tronçon de route à réaliser s'étend sur une longueur totale d'environ *1,60km entre le Profil1 et le Profil78*.

8.1. Impacts potentiels

8.1.1. Les impacts négatifs

➤ Phase de chantier

La phase de préparation est importante pour l'installation des bases et la mobilisation des engins. Les premières atteintes physiques à l'environnement et au milieu humain sont enregistrées au cours de celle-ci et sont suivies par celles de la phase de construction.

Perturbation des activités: pendant la phase de préparation et ensuite de réalisation du projet, une partie des activités exercées dans le voisinage immédiat du projet sera perturbée. Les activités commerciales, et agricoles seront arrêtées ou réduites, ce qui constituera une perte en matière d'emplois et de revenus directs.

Gêne des circulations et des accès: les travaux provoqueront une perturbation de la circulation des véhicules et des piétons augmentée des risques d'accident liés :

- aux déplacements des engins et véhicules de chantier tout comme sur les voies de déviation, qui seront encombrées ou inondées pendant les saisons des pluies
- stationnement des véhicules le long de la route

L'impact sera relativement important pendant les travaux, la pollution des engins de terrassement, de transport, de décapage, va constituer une gêne temporaire et locale pour les populations riveraines et surtout pour les services, les habitations.

L'état acoustique Détérioration du cadre de vie et de la santé : l'amoncellement des déchets des travaux comme les déblais, les remblais, les gravats vont constituer une gêne supplémentaire pour les populations. Les travaux vont générer des quantités de poussières fines relativement importantes sur le chantier et dans le voisinage. Ces poussières peuvent affecter les populations riveraines avec des risques de maladies respiratoires.

Erosion des sols : l'exploitation des zones d'emprunt existantes peut augmenter l'érosion des sols. Les zones d'emprunt non réhabilitées sont susceptibles de favoriser la stagnation d'eau insalubre et la prolifération de vecteurs de maladies tels que les moustiques.

Pollutions : les installations d'enrobage comportent également un potentiel de pollution de l'air par les poussières et les émissions liées à la combustion. Les bases de chantiers peuvent engendrer une pollution par les eaux usées ou la mauvaise gestion des déchets.

➤ **Phase d'exploitation**

Milieu biologique : étant donné que la zone de réalisation du projet est dense, les travaux affecteront la faune et la flore.

Pollution sonore : en phase d'exploitation, la vitesse de référence de la route sera de 60km/h. Les trafics y seront en constante augmentation. La nuisance sonore sera exacerbée par l'action combinée des véhicules plus nombreux à emprunter cette route et la proximité des riverains.

Population et vie sociale : la période d'adaptation au fonctionnement de la nouvelle voie affectera certains usagers liés à la circulation piétonne. Les populations riveraines seront exposées aux risques d'accidents de la circulation liés à sa fluidité et à l'accroissement du trafic d'où la nécessité d'une campagne de sensibilisation.

8.1.2. Les impacts positifs

Les améliorations de la route permettront une circulation de véhicules mieux structurée, plus fluide, les déplacements moins onéreux, améliorant ainsi l'état de la sécurité routière. Les avantages attendus se déclinent principalement par :

- **Une réduction des temps de parcours** : la réalisation de la route permettra des vitesses moyennes de parcours pendant toutes les saisons de l'année.
- **Facilitation d'accès aux établissements de santé, d'éducation et administration** : les accès aux centres administratifs, économiques, éducatifs, médicaux et touristiques seront facilités et améliorés, en temps de parcours et en confort, de même que les échanges intra et interrégionaux.

- **Création d'emploi** : dans les phases chantier, d'exploitation et ultérieure d'entretien, le nombre et les qualifications seront fixés par les entreprises et leurs sous-traitants en fonction de leurs besoins. Les populations environnantes constituent de main d'œuvre potentielle, notamment pour le gardiennage, les agents liés à la circulation en alternance et l'exécution manuelle de terrassement, ou de désherbages ponctuels. Le recrutement de plusieurs cadres moyens et supérieurs, au nombre desquels on peut citer des conducteurs des travaux (ingénieurs), des chefs d'équipes (techniciens supérieurs), et des topographes (techniciens supérieurs).
- **Une meilleure intégration environnementale** : l'amélioration des ouvrages hydrauliques et des réseaux de drainage des eaux pluviales contribuera à la lutte contre l'érosion des sols, à la protection des ressources en eau, à la mise hors inondations des riverains, et à la pérennité de la route en soi.
- **Le développement des activités socio-économiques** : L'installation du personnel de chantier dans la zone va accroître la demande en logement. La demande en équipement pourrait inciter les propriétaires des maisons à améliorer l'état de leurs constructions ; ce qui aura un impact positif sur le cadre de vie. Durant les travaux, la population de la zone du projet va connaître un accroissement, aussi bien par la présence du personnel de l'entreprise que par celle des personnes venues exercer des activités commerciales. L'autorité du Chef sera renforcée pendant la phase des travaux par leur implication dans les engagements pris par les différentes parties (promoteur, entreprise et population), et sera un gage de cohésion sociale. De plus le flux temporaire de travailleurs vers la zone des travaux entraînera l'augmentation de la consommation de plusieurs produits de base tels que le carburant, des vivres, donc des revenus plus grands pour les gérants d'activités.

8.2. Mesures d'atténuations et de bonification

➤ **Mesures compensatoires liées à la libération des emprises**

L'acquisition de parcelles et le déplacement : prévoir un montant pour compenser les indemnités des pertes de revenus.

➤ **Mesures d'atténuation durant la phase des travaux**

Les principales mesures d'atténuation seront principalement axées sur l'organisation des travaux et l'équipement des bases vie.

Installation de chantiers : les aires des chantiers seront installées dans des endroits à enclaves ouvertes dont l'accès aura été facilité, non utilisables à des fins agricoles, de sites archéologiques ou religieux. Les entreprises en charge des travaux veilleront à établir leur base de vie à l'écart des puits et cours d'eau de manière à éviter tout risque de pollution de la ressource ; aucun dépôt de matériel pouvant libérer des matières polluantes ne sera autorisé en deçà d'un périmètre de sécurité. Les accès seront gardés pour limiter l'interaction entre les chantiers et le milieu extérieur. Les horaires de travail seront modulés de manière à limiter le dérangement des populations riveraines. La vitesse des engins sera limitée sur les chantiers et les sites des travaux localisés.

Plan de circulation et de déviation : un plan de circulation des engins sera élaboré de manière à permettre la plus grande mobilité et l'accessibilité des riverains. Il devra être évolutif en fonction du phasage prévu pour les travaux. Ce plan sera renforcé par la pose de panneaux de signalisation et d'information. Les aires de travaux seront clairement balisées.

Installation de dépôt de carburant et de lubrifiants : les unités de stockage des produits hydrocarbonés seront des réservoirs placés dans les zones de confinement appropriées afin d'éviter tout déversement ou rupture du réservoir et un minimum de risques d'incendie. Des équipements de nettoyage de tout déversement seront prévus.

Confinement des substances inflammables et dangereuses : les zones de stockage des produits inflammables doivent disposer d'un équipement d'urgence adéquat maintenu en bon état de fonctionnement. L'oxygène, le propane et l'acétylène, destinés aux opérations de soudage, seront stockés dans un endroit prévu à cet effet clôturé et protégé de toute possibilité d'accident avec un véhicule. Les huiles usagées seront recueillies dans des réservoirs en vue d'être recyclées et acheminées en dehors du site dans des conditions imposées par la Direction de l'Environnement.

Sols contaminés par les carburants et lubrifiants : une aire spéciale sera réservée pour le traitement éventuel des sols contaminés par les produits pétroliers. Ils seront excavés et placés dans les bacs de confinement étanche et décontaminés à l'aide de solvants. Les sols traités seront évacués dans des dépotoirs autorisés.

Coupes d'arbres et de haies vives : la coupe de 50 arbres sans valeur écologique particulière aux abords de la route existante requière des autorisations préalables auprès de la Direction de l'Environnement avant de procéder aux coupes. Le bois coupé sera obligatoirement valorisé.

En compensation, des plantations et des ensemencements seront effectués dans l'emprise des travaux (après achèvement) au titre des mesures visant l'embellissement des espaces urbains. Cette action permettra d'éviter des érosions au droit des surfaces dénudées temporairement.

Les mouvements des terres : les sites de prélèvement (carrières) ou destinés aux dépôts excédentaires seront choisis de manière à ne pas générer des impacts paysagers ou à présenter des dangers, ils seront remis en état à l'issue des travaux.

Emission de poussières : afin de réduire les émissions de poussière provenant des circulations d'engins et du transport des matériaux, les responsables de chantier effectueront des actions d'arrosage sur les pistes adjacentes aux zones habitées. Les dépôts provisoires de remblais ou déblais pourraient également nécessiter leur humidification.

Les rejets liquides, les risques de pollution des eaux, les rejets solides : en fonction du dimensionnement des sous chantiers, les effluents provenant des installations seront collectés et évacués suivant leur composition : dans les fosses septiques étanches ou des systèmes de collecte mobile.

9. CONCLUSION

Ce rapport d'études techniques a fait ressortir l'état des lieux du projet, les solutions d'aménagements durables de la route départementale 124 et les prestations de réalisation de l'ouvrage de franchissement. Par ailleurs, dans le souci de disposer des coûts des travaux, nous avons procédé à un prédimensionnement des chaussées et ouvrages. Un avant-métré, un devis quantitatif et estimatif des travaux ont été établis afin de déterminer le coût du projet. Pour les devis estimatifs, des prix unitaires de travaux des plus récents en cours ont été considérés.

Recommandations sur l'exécution du dalot : l'exécution ne pose pas de problème particulier à condition de respecter les règles élémentaires de bonne construction et en particulier le remblaiement symétrique des piédroits avec des matériaux de bonne qualité, compacté à l'aide de moyens adaptés. Il faut surtout éviter la suppression des goussets, de quelques armatures.

Recommandation sur la structure de la chaussée : avant la mise en place de la couche de roulement de 20 cm, il est nécessaire de mettre en place une couche de forme de 30 cm ayant les mêmes caractéristiques structurelles qu'une couche de remblai.

Recommandation sur la hauteur de remblai : il est nécessaire de réaliser la mise en place du remblai par couche de matériaux successifs de 30 cm maximum.

10. BIBLIOGRAPHIE

1. CEBTP, Guide de dimensionnement des chaussées dans les pays tropicaux, Edition 1984, 156p.
2. Les méthodes du BCEOM (exposées dans l'hydraulique routière-BCEOM 1981), 177p.
3. Guide technique Assainissement routier SETRA, [2006]
4. Fascicule n° 61 : Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, Titre II - programmes de charges et épreuves des ponts et routes, 78p.
5. Les règles du BAEL 91 modifiés 99 aux états limites.
6. « Formulaire des cadres simple » de KLEINLOGEL.

11. ANNEXES

ANNEXE 1 : COÛT DU PROJET.....	50
ANNEXE 2 : RESULTATS GEOTECHNIQUES.....	59
ANNEXE3 : CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT	60
ANNEXE 4 : ALIZE-LCPC - DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE CHAUSSEES	61
ANNEXE 5 : NOTE DE CALCUL DU DALOT	63
ANNEXE 6 : RESULTATS DES TRACES ET PROFILS	98
ANNEXE 7 : PLANS D'EXECUTION DE L'OUVRAGE	99
ANNEXE 8 : ASSAINISSEMENT	100
ANNEXE 9 : CARTE DE LOCALISATION.....	101

ANNEXE 1 : COÛT DU PROJET

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DU DALOT

REALISATION DES DALOTS

Dimensions

- Section 4 x 2.5 m²
- Longueur : 10 m

ETAPES DE MISE EN ŒUVRE

1. Fouille (17.5 x 2 x 2.8) m² x 10
2. Béton de propreté dosé à 150 kg/m³
3. Radier avec du béton dosé à 400 kg/m³
4. Piédroits avec du béton dosé à 400 kg/m³
5. Tablier avec du béton dosé à 400 kg/m³

QUANTITE DE MATERIAUX POUR LES DALOTS

Volume des terres à excaver

$$V_{\text{terre}} = (17.5 \times 2 \times 2.8) \times 10 = 980 \text{ m}^3$$

Volume de béton de propreté

$$e = 5\text{cm}; V_{\text{BP}} = (0.05 \times 17.5 \times 2) \times 10 = 17.5 \text{ m}^3$$

Volume de béton pour radier

$$V_{\text{BR}} = (0.30 \times 17.5 \times 2) \times 10 = 105 \text{ m}^3$$

Volume de béton pour les piédroits

$$V_{\text{Bpié}} = 9 \times (0.30 \times 2.5) \times 10 = 750 \text{ m}^3$$

Volume de béton de la dalle

$$V_{\text{Bd}} = (0.30 \times 17.5 \times 2) \times 10 = 105 \text{ m}^3$$

Volume de béton des guides roues

$$V_{\text{gr}} = 2 \times (0.15 \times 0.25 \times 17.5 \times 2) = 2.625 \text{ m}^3$$

D'où, Volume total de béton dose à 350 kg / m³

$$V_{\text{T}} = V_{\text{BR}} + V_{\text{Bpié}} + V_{\text{Bd}} + V_{\text{gr}} = 962.625 \text{ m}^3 \text{ soit } 965 \text{ m}^3$$

$$V_T (350 \text{ kg} / \text{m}^3) = 965 \text{ m}^3$$

Volume du béton de propreté dosé à 150 kg / m³

$$\text{On a } V_{BP} = 17.5 \text{ m}^3 \approx 18 \text{ m}^3$$

Pour un m³ de béton dosé à 150 kg, on a :

- 540 litres de sable (9 brouettes de 60 litres)
- 720 litres de gravier (12 brouettes de 60 litres)
- 150 kg de ciment (3 sacs de ciments de 50 kg)
- 90 litres d'eau (9 seaux de 10 litres)

Nous pouvons en déduire les quantités pour 18 m³ de béton et nous avons :

Sable (litres)	Gravier (litres)	Ciment (kg)	Eau (litres)
9720	12960	2700	1620

Pour un m³ de béton dosé à 350 kg, on a :

- 420 litres de sable
- 840 litres de gravier
- 350 kg de ciment
- 200 litres d'eau

Nous pouvons en déduire les quantités pour 965 m³ de béton et nous avons :

Sable (litres)	Gravier (litres)	Ciment (kg)	Eau (litres)
405300	810600	337750	193000

COUT DES MATERIAUX

Sable

Un camion benne a une capacité de 6m³ soit 6 000 litres de sable d'où le nombre de camion est de :

$$n_1 = 405300 / 6\ 000 = 67.55 \approx 68$$

Par ailleurs un camion de sable coûte en moyenne 150 000 FCFA du lieu d'extraction au chantier tout frais compris, le coût total sera = 68 x 150 000 = **10 200 000 FCFA**

Gravier

Une brouette de gravier de 2000 FCFA à une contenance de 60 litres = 810600/60 x 2 000 = **27 020 000 FCFA**

Ciment

Un sac de ciment coûte environ 5000 FCFA sur le marché national, et de type CPJ 35 et pèse 50 kg, au total nous aurons : $337750/50 \times 5\,000 = 33\,775\,000$ FCFA

Le transport avoisinerait **480 000 FCFA**

Le coût total du ciment est de **34 255 000 FCFA**.

Eau

L'eau servant à la réalisation de ce dalot est de 193 000 litres et coûte **193 000 FCFA** à raison de 1 FCFA le litre.

Béton de propreté (BP)

Les quantités pour 1 m^3 de Béton de propreté :

➤ **Coût des matériaux du BP**

• **Sable**

$$n_1 = 9720 / 6\,000 = 1.62 \approx 2 ;$$

$$\text{Coût} = 2 \times 150\,000 = 300\,000 \text{ FCFA}$$

• **Gravier**

$$12960/60 \times 2000 = 432\,000 \text{ FCFA}$$

• **Ciment**

$$2700/50 \times 5000 = 270\,000 \text{ FCFA}$$

• **Eau**

$$1620 \times 1 \text{ FCFA} = 1620 \text{ FCFA}$$

➤ **Coût total du béton de propreté**

$$1620 \text{ FCFA} + 270\,000 \text{ FCFA} + 432\,000 \text{ FCFA} + 300\,000 \text{ FCFA} = 1\,003\,620 \text{ FCFA}$$

➤ **Coût total radier + piédroits+ tablier**

$$10\,200\,000 + 27\,020\,000 + 34\,255\,000 + 193\,000 \text{ CFA} = 71\,668\,000 \text{ FCFA}$$

TERRASSEMENT

- Excavation (déblai) = 980 m^3
- Nombre de manœuvre = 20 manœuvres
- Rendement journalier = $8\text{ m}^3 / \text{j} / \text{manœuvre}$
- Nombre de jour de travail = 7 jour
- Salaire journalier par manœuvre = $1\,000 \text{ FCFA} / \text{m}^3$

A	Quantité	Prix unitaire	Montant
Matériels :			
➤ Pioches	20	6 000	120 000
➤ Pelles bêches	20	3 500	70 000
Total A			190 000
B			
Personnel :			
Manœuvres	140	1 000	140 000
Chef d'équipe	7	2 000	14 000
Total B			154 000
Total A+ B = a			344 000
		Pourcentage	
Frais chantier = b		7 %	24080
Frais généraux = c		10 %	34400
Prix de revient d = a + b + c		-	402 480
Risques et bénéfices e = 15% d		15 %	60372
Prix de vente total hors taxes f = d + e			462 852

EXECUTION DU BETON DE PROPRETE (BP)

- Mise en œuvre du BP : $V_{BP} = 18 \text{ m}^3$ (e = 5cm)
- Nombre de manœuvre = 5
- Chef chantier = 1
- Nombre de jour de travail = 3

A	Quantité	P.U (FCFA)	Montant (FCFA)
Matériels :			
Bétonnière (location/jour)	1	100 000	300 000
Vibreux (location/jour)	2	50 000	300 000
Brouette (achat)	2	25 000	50 000
Total A			650 000
B			
Personnels :			
Manœuvres	5	2 500	37 500
Bétonnier	1	2 500	7500
Ouvriers spécialisés	1	10 000	30 000
Chef de chantier	1	15 000	45 000
Total B			120 000
C			
Matériaux :			
Sables	9720l	25	300 000
Gravier	12960l	35	432 000
Ciment	2700kg	5000	270 000
Eau	1620l	1	1620
Total C			1 003 620
Coût total A+B+C			1 773 620

	Pourcentage	Montant
Frais généraux de chantier	7%	124 155
Frais généraux de siège	10%	177 362
Prix de revient	-	2 075 137
Risques et bénéfices	15%	311 270
Prix de revient total hors taxes		2 386 410

EXECUTION DU DALOT

- Volume de béton nécessaire = 965 m³
- Nombre de manœuvre = 20
- Bétonnier = 2
- Ouvriers spécialisés = 2
- Chef de chantier = 1
- Nombre de jour de travail = 7

A	Quantité	P.U (FCFA)	Montant (FCFA)
Matériels :			
Bétonnière (location/jour)	2	100 000	1 400 000
Vibreux (location/jour)	5	50 000	1 750 000
Brouette (5 de plus)	5	25 000	125 000
Total A			3 275 000
B			
Personnels :			
Manœuvres	20	2 500	350 000
Bétonnier	2	2 500	35 000
Ouvriers spécialisés	2	10 000	140 000
Chef d'équipe	1	15 000	105 000
Total B			630 000

C			
Matériaux :			
Sables	405300 l	25	10 200 000
Gravier	810600 l	35	27 020 000
Ciment	337750 kg	5000	34 255 000
Eau	193000l	1	193 000
Total C			71 668 000
Coût total A+B+C			75 573 000

	Pourcentage	Montant
Frais généraux de chantier	7%	5 290 110
Frais généraux de siège	10%	7 557 300
Prix de revient	-	88 420 410
Risques et bénéfices	15%	13 263 065
Prix de revient total hors taxes		101 683 475

N°	DESIGNATION	UNITES	QUANTITES	PRIX UNITAIRE	SOUS TOTAL
	SERIE 100: INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER				
100	Installation et repli de chantier	Fft	1,00	17 500 000	17 500 000
101	Déplacement de réseaux divers existants, y compris regards	Fft	1,00	7 500 000	7 500 000
	TOTAL SERIE 100				25 000 000
	SERIE 200- DEGAGEMENT DES EMPRISES				
200	Débroussement mécanique de l'emprise	m ²	57 240,00	300	17 172 000
201	Décapage de terre végétale sur 20 cm	m ³	636,00	250	159 000
202	Abattage et dessouchage des arbres	u	30,00	75 000	2 250 000
	TOTAL SERIE 200				19 581 000
	SERIE 300 - TERRASSEMENTS				
300	Remblai en provenance de carrière, y compris plus-value de transport en m ³ x hm	m ³	4 603,18	225	1 035 716
303	Déblai mis en dépôt hors site d'emprunt	m ³	2 405,00	3 500	8 417 500
304	Remblai en provenance de déblai	m ³	2 405,00	3 000	7 215 000
	TOTAL SERIE 300				16 668 216
	SERIE 400 - CHAUSSEE				
400	Couche de roulement en grave latéritique, ép 20cm	m ³	1 908,00	4 500	8 586 000
	TOTAL SERIE 400				8 586 000
	SERIE 600 - ASSAINISSEMENT				
600	Fossé				
600a	caniveaux perré 130 x 60	ml	3 180,00	5 000	15 900 000
601	Bordure haute et descente d'eau				
601a	Descente d'eau en béton armé	ml	254,00	15 579	3 957 066
601b	Bordure de type T2	ml	3 180,00	20 000	63 600 000
	TOTAL SERIE 600				83 457 066
	SERIE 700 : OUVRAGES D'ART				
700	Dalot 4 x 2,5				
700a	Dalot 4 x 2,5	u	8,00	16 696 188	133 569 504
700b	Protection des talus contre érosion par perrés maçonnées	m ²	7 916,00	300	2 374 800
700c	Enrochements	m ³	15,30	13 354	204 316
703	Gabions	m ³	15,30	33 384	510 775
705	Bordure de trottoir	ml	69,40	6 500	451 100
706	Garde-corps	ml	69,40	90 000	6 246 000
707	Étanchéité	m ²	340,00	3 000	1 020 000
708	Joint	ml	10,00	2 200	22 000
	TOTAL SERIE 700				144 398 495
	SERIE 800 : SIGNALISATION ET EQUIPEMENTS				
800	Glissière de sécurité	ml	3 180,00	2 000	6 360 000
801	Panneau de type A	u	10,00	150 000	1 500 000
802	Panneau de type E	u	2,00	175 000	350 000
803	Balise de J1	u	80,00	50 000	4 000 000

TOTAL SERIE 800				12 210 000
SERIE 900 : Etudes environnementales et sociales				
Mesures d'atténuation	ff	1,00	50 000 000	50 000 000
TOTAL SERIE 900				50 000 000
MONTANT TOTAL HORS TVA EN FCFA				359 900 777
<i>TVA AUX TAUX DE 18%</i>				<i>64 782 140</i>
MONTANT TOTAL TOUTES TAXES COMPRISES				424 682 917

ANNEXE 2 : RESULTATS GEOTECHNIQUES

Résultats des recherches de matériaux pour remblai

N° Emprunt	Coordonnées GPS (UTM-WGS84) : (X, Y)	Distance par rapport au site de l'ouvrage (m)	Volume exploitable (m3)
Emprunt 2Z	Sondage S1 :0545088/1300469	3300	10500
Emprunt 4Z	Sondage S1 :0544854/1305436	750	64000
Emprunt 5Z	Sondage S1 :056206/1303214	595	14000

Essai Proctor modifié

Emprunt 1Z		Emprunt 3Z	
Densité (t/m ³)	Teneur (%)	Densité (t/m ³)	Teneur (%)
2	2.9	2.01	2.5
2.09	4.9	2.07	4.4
2.18	6.5	2.19	6.7
2.1	8.9	2.16	8.7

Essai de Portance CBR

Nombre de coups	Emprunt 1Z		Emprunt 3Z	
	Densité (t/m ³)	Teneur (%)	Densité (t/m ³)	Teneur (%)
56	2.18	6.5	2.18	7
25	2.07	6.5	2.08	7
10	1.96	6.6	1.98	6.8
CBR (95%)	32		33	

ANNEXE3 : CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

site	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Long. L (km)	Coeff Icomp	Ig (m/km)	infiltrabilité	Pan moy (mm)	Pluie j.decln (mm)	P10 (mm)	Kr10	Coeff abat A	Tb (mm)	Coeff pointe k	Coeff Qret	ORSTOM	CIEH		Débit Q10	Débit Q50	Débit Q100
																1 (40)	2(39)			
Zawara	1117.83	162.87	51.29	1.37	1.27	RI	918.7	104	65.19	17.5	0.63	7408	2.6	1.12	83.55	108.84	113.68	102.02	142.83	204.04

ANNEXE 4 : ALIZE-LCPC - DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE CHAUSSEES

Selon la méthode rationnelle Lcpc-Sétra

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= 0,20 m	0,000m	-131,6 X-J	0,053 X-J	316,5 Z-R	0,657 Z-R	
E= 400,0 MPa						
nu= 0,350	0,150m	-511,2 Y-R	-0,129 Y-R	943,3 Z-R	0,302 Z-R	
----- collé (z=0,150m) -----						
h= 0,300 m	0,150m	-511,2 Y-R	0,010 Y-J	1413,0 Z-R	0,302 Z-R	
E= 200,0 MPa						
nu= 0,350	0,450m	-484,8 Y-J	-0,107 Y-J	612,7 Z-J	0,056 Z-J	
----- collé (z=0,450m) -----						

h infini 0,450m -484,8 Y-J -0,004 Y-J 1134,7 Z-J 0,056 Z-J

E= 50,0 MPa

nu= 0,350

Déflexion maximale = 104,4 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 74,7 m (entre-jumelage)

Variante de calcul n°2

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= 0,20 m	0,000m	-118,8 X-J	-0,057 X-J	225,0 Z-R	0,657 Z-R

E= 960,0 MPa

nu= 0,350 0,150m -184,8 Y-R -0,076 Y-R 388,3 Z-R 0,332 Z-R

----- collé (z=0,150m) -----

h= 0,300 m 0,150m -184,8 Y-R 0,011 Y-J 517,6 Z-R 0,332 Z-R

E= 600,0 MPa

nu= 0,350 0,450m -65,5 Y-J -0,003 Y-J 154,0 Z-J 0,094 Z-J

----- collé (z=0,450m) -----

h infini 0,450m -65,5 Y-J -0,003 Y-J 154,0 Z-J 0,094 Z-J

E= 600,0 MPa

nu= 0,350

Déflexion maximale = 16,6 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 222,9 m (entre-jumelage)

ANNEXE 5 : NOTE DE CALCUL DU DALOT

DALOT

GENERALITES

Description de l'ouvrage

Les caractéristiques sont les suivantes :

- portées isostatiques 4.30 m

Les épaisseurs sont obtenues par l'expression $e = L/32 + 0.125$ où $L =$ portée d'une batterie de dalot de 4 ouvertures.

- épaisseur du tablier = 0.30 m
- épaisseur du radier = 0.30 m
- épaisseur des piédroits = 0.30 m
- largeur de la plateforme (entre guides roues) = 10 m
- dimensions intérieures d'une cellule = 4 x 2.5 m
- portée isostatique du tablier = 4.30 m
- une chape d'étanchéité de 3 cm d'épaisseur.

NOTE D'HYPOTHÈSES GÉNÉRALES

➤ Références et règlement de calcul

Le calcul est fait conformément à la réglementation française :

Fascicule n° 61 : Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, Titre II - programmes de charges et épreuves des ponts et routes,

Le calcul du ferrailage est effectué suivant les règles du BAEL 91 modifiés 99 aux états limites.

➤ Caractéristiques des matériaux

Ciment

Le ciment utilisé pour la réalisation du tablier sera du CPA 45.

Béton

Classe du béton = B30

Dosage = 400 kg/m³

Résistance à la compression $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$

Résistance à la traction $f_{t28} = 0.6 + 0.06f_{c28} = 2.4 \text{ MPa}$

Densité = 2.5 t/m^3

La fissuration est peu préjudiciable

Acier

Acier de Haute Adhérence (HA) FE 400

Enrobage = 3 cm

Granulats

Le diamètre du plus gros granulats est de 25 mm

Terrain

Sol de fondation

- nature = sol sablo-limoneux
- module de réaction = 10000 t/m^2 (sol sablo-limoneux normalement consolidé)
- contrainte admissible suivant essais au pénétromètre dynamique = 2 kg/cm^2 à 0.82 m de profondeur. cette portance devra être reconstituée sur toutes les couches supérieures par purge des matériaux de mauvaise tenue et substitution par des matériaux de bonne tenue.
- coefficient de frottement terrain/fondation = 0.58

Remblais

- nature = graveleux latéritique
- poids volumique = 2 t/m^3
- angle de frottement interne = 38 degrés
- angle de transmission des charges = 45 degrés
- cohésion (non prise en compte) = 0 t/m^3
- coefficient de poussée des terres $k = 0.333$
- hauteur remblai sur ouvrage = 0.50 m

➤ Hypothèses de chargement

Classification

- largeur roulable : 7m
- largeur chargeable : 6m
- nombre de voies : 2
- pont : de 1^{ère} classe

Charges d'exploitation

➤ **Système de charges A**

$$A_1(L) = \max. [a_1 \cdot a_2 \cdot A(l); (400 - 0.2L)] \text{ en Kg / m}^2 \text{ avec } A(l) = 230 + \frac{36000}{l+12} \text{ kg/m}^2$$

$$l \text{ (m)} = \max (L_R; L_t) = 7 \text{ m}$$

a_1 est fonction du nombre de voie et de la classe du pont, $a_1=1$

$$a_2 = v_o / v, \text{ avec } v_o = 3,50\text{m}, v = L_R/2, a_2=1$$

A(l) pondérée par les coefficients a_1 et a_2 donne $A_2 = 2.12 \text{ t/ml}$

➤ **Système de charges B**

Les charges B sont pondérées par un coefficient de majoration dynamique δ :

$$\delta = 1 + \alpha + \beta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{S}} \text{ avec } L = \max (L_R ; \text{portée du tablier}) \text{ qui sera évalué}$$

dans chaque cas ci-après.

➤ **Système Bc (camion type)**

Le camion type du système Bc a une masse totale de 30 tonnes :

- la masse portée par chacun des essieux arrière est de 12 tonnes
- la masse portée par l'essieu avant est de 6 tonnes
- la surface d'impact d'une roue arrière est de $0,25 \times 0,25 \text{ m}^2$
- la surface d'impact d'une roue avant est de $0,20 \times 0,20 \text{ m}^2$
- on peut disposer transversalement sur la chaussée autant de files de camions Bc que la chaussée comporte de voies de circulation et longitudinalement le nombre de camions par file est limité à 2.
- les charges Bc sont pondérées par les coefficients δ et $b_c = 1,10$.

➤ **Système Bt (Essieu tandem)**

- la masse par tandem est de 16 tonnes
- la surface d'impact de chaque roue est de :
 - transversalement : 0,60 m
 - longitudinalement : 0,25 m

Soit $0,60 \times 0,25 \text{ m}^2$

- on peut disposer transversalement sur la chaussée au maximum deux tandems Bt et longitudinalement le nombre de tandem est limité à 1.
- la masse totale d'un camion Bt = 32 t, coefficient bt = 1.

Les charges Bt sont pondérées par les coefficients δ et bt.

➤ **Système Br (roue isolée)**

Il s'agit d'une roue isolée de 10 t pouvant être placée n'importe où sur la largeur roulable.

Pour la flexion transversale, le coefficient de majoration dynamique sera fonction de l'élément sollicité.

Sa surface d'impact est un rectangle uniformément chargé de 0,60 m de côté transversal et de 0,30 m de côté longitudinal.

➤ **Effort de freinage**

- L'effort de freinage correspondant à la charge A est égal à la fraction suivante du poids de cette dernière : $\frac{1}{(20 + 0,0035 \cdot S)}$ dans laquelle S désigne en mètres carrés (m²) la surface chargée.

- Pour Bc, il correspond à un camion de 30 tonnes.

$$\text{L'effort de freinage maximum } H_{\max} = \max \left[\frac{A}{(20 + 0,0035 \cdot S)} ; 30t \right]$$

➤ **Garde-corps**

Effort horizontal : 25 kg/ml.

Charges permanentes

Béton armé : $g = 25 \text{ kN/ m}^3$

Charge de remblai : $\gamma = 20 \text{ kN/ m}^3$

Surcharge de remblai : $q = 10 \text{ kN/ m}^2$

Poussée des terres : $K_a = 0,33$

Combinaisons d'actions

Définition des charges

G = Ensemble des actions permanentes défavorables ;

S = Charges routières sans caractère particulier (système A, B) obtenues par multiplication des charges figurant au

Fascicule 61 titre II par :

- 1,60 à l'E.L.U.,
- 1,20 à l'E.L.S. ;

Combinaisons aux États Limites

- **ELU**
1,35 G+1.6 S
- **ELS**
G+1.20 S

ÉQUATIONS DES TROIS MOMENTS

Evaluation des charges permanentes et surcharges routières

Charges permanentes

Au niveau du tablier

- poids propre du tablier = $0.3 \times 2.5 \times 1 = 0.75$ t/ml
- chape d'étanchéité de 3cm d'épaisseur avec une densité de 2.2 t/m³ = $0.03 \times 2.2 \times 1 = 0.07$ t/ml
- garde-corps de 25 kg/ml = $0.025 \times 2 \times 1 = 0.05$ t/ml
- guides roue de dimensions 0.15 x 0.25 = $2.5 \times 0.15 \times 0.25 \times 2 \times 4.3 / 7.6 = 0.11$ t/ml
- poids mort remblai = $2 \times 0.50 \times 1 = 1$ t/ml

Soit au total une charge permanente $g_1 = 1.98$ t/ml

Au niveau du radier

- poids propre du radier = $0.3 \times 2.5 \times 1 = 0.75$ t/ml
- charge totale sur tablier $g_1 = 1.98$ t/ml
- poids propre piédroits = $5 \times 2.5 \times 0.3 \times 2.5 / 17.5 = 0.54$ t/ml

Soit au total une charge permanente $g_2 = 3.27$ t/ml

Evaluation des surcharges routières

➤ Système Bc

Au niveau du tablier

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

$$\text{Charge répartie } q_1 = \frac{48 \times 1.1}{4.3 \times 5} = 2.46 \text{ t/m}^2$$

$$G = 4 \times 1.98 = 7.89 \text{ t}$$

$$S = 4 \times 2.46 = 9.82 \text{ t}$$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.31$ d'où une surcharge uniformément répartie q_{Bc}
 $= \delta \times q_1 = 1.31 \times 2.46 = 3.21 \text{ t/ml}$

Au niveau du radier

On considère deux (02) files de deux (02) essieux de 12 t soit 48 t

$$\text{Charge répartie sur radier : } q_1 = \frac{48 \times 1.1}{17.5 \times 5} = 0.60 \text{ t/m}^2$$

$$G = 4 \times 3.27 = 13.03 \text{ t}$$

$$S = 4 \times 0.60 = 2.40 \text{ t}$$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.19$ d'où une surcharge uniformément répartie q_{Bc}
 $= \delta \times q_1 = 1.19 \times 0.60 = 0.72 \text{ t/ml}$

➤ Système Bt

Au niveau du tablier

On peut disposer sur une travée, un (01) tandem dans le sens longitudinal, équivalent à deux (02) essieux de 16t chacun, soit 32 t.

$$\text{Charge répartie } q_1 = \frac{32 \times 1}{4.3 \times 6} = 1.24 \text{ t/m}^2$$

$$G = 4 \times 1.98 = 7.98 \text{ t}$$

$$S = 4 \times 1.24 = 4.96 \text{ t}$$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.25$ d'où une surcharge uniformément répartie q_{Bt}
 $= \delta \times q_1 = 1.25 \times 1.24 = 1.55 \text{ t/ml}$

Au niveau du radier

On considère un (01) tandem dans le sens longitudinal, équivalent à deux (02) essieux de 16t chacun, soit 32t.

$$\text{Charge répartie sur radier : } q_1 = \frac{32 \times 1}{17.5 \times 6} = 0.30 \text{ t/m}^2$$

$$G = 4 \times 1.98 = 7.89 \text{ t}$$

$$S = 4 \times 0.30 = 1.20 \text{ t}$$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.18$ d'où une surcharge uniformément répartie $q_{Br} = \delta \times q_1 = 1.18 \times 0.3 = 0.36 \text{ t/ml}$

➤ **Systeme Br**

On peut disposer une charge ponctuelle de 10 t de surface d'impact. Avec la méthode de BOUSINESSQ on détermine une surface d'impact = $(0.3 + 0.3/2 + 0.50) \times (0.6 + 0.3/2 + 0.50) = 1.187 \text{ m}^2$.

Au niveau du tablier

$$\text{Charge répartie } q_1 = \frac{10}{1.187} = 8.424 \text{ t/m}^2$$

$$G = 4 \times 1.98 = 7.89 \text{ t}$$

$$S = 10 \text{ t}$$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.31$ d'où une surcharge uniformément répartie $q_{Br} = \delta \times q_1 = 1.31 \times 8.42 = 11.04 \text{ t/ml}$

Au niveau du radier

$$\text{Charge répartie sur radier : } q_1 = \frac{10}{1.187} = 8.424 \text{ t/m}^2$$

$$G = 4 \times 1.98 = 7.89 \text{ t}$$

$$S = 10 \text{ t}$$

Coefficient de majoration dynamique $\delta = 1.50$ d'où une surcharge uniformément répartie $q_{Br} = \delta \times q_1 = 1.50 \times 8.42 = 12.60 \text{ t/ml}$

Détermination 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.

L'application de l'équation à notre structure donne :

- NoeudB: $M_A + 4M_B + M_C = -\frac{pL^2}{2}$
- NoeudC : $M_B + 4M_C + M_D = -\frac{pL^2}{2}$
- NoeudD: $M_C + 4M_D + M_E = -\frac{pL^2}{2}$

La résolution des équations nous donne les moments sur les appuis ; pour y parvenir nous avons formulé l'écriture matricielle suivante : $\beta = \text{PRODUITMAT (INVERSEMAT (PRODUITMAT (TRANSPOSE(X) ; X)) ; Y)}$

$$X = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 4 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} -\frac{pL^2}{2} \\ -\frac{pL^2}{2} \\ -\frac{pL^2}{2} \end{bmatrix} \quad \beta = \begin{bmatrix} M_B \\ M_C \\ M_D \end{bmatrix} \quad M_A = M_E = 0$$

Moments en travée

Les moments en travée sont obtenus par l'application des formules suivantes :

$$M_{AB} = \frac{pL^2}{8} + \frac{M_A + M_B}{2} ; \quad M_{BC} = \frac{pL^2}{8} + \frac{M_C + M_B}{2} ; \quad M_{CD} = \frac{pL^2}{8} + \frac{M_C + M_D}{2} ; \quad M_{DE} = \frac{pL^2}{8} + \frac{M_D + M_E}{2}$$

Réactions

La formulation de cinq équations ont permis la détermination des réactions connaissant les moments sur appuis. Ces équations sont les suivantes :

- $\sum Fy = 0 \rightarrow R_A + R_B + R_C + R_D + R_E = 4pL$
- $\sum M/A = 0 \rightarrow R_B + 2R_C + 3R_D + 4R_E = 8pL$
- $\sum M/B = 0 \rightarrow R_A = \frac{M_B}{L} + \frac{pL}{2}$
- $\sum M/C = 0 \rightarrow 2R_A + R_B = \frac{M_C}{L} + 2pL$
- $\sum M/E = 0 \rightarrow R_E = \frac{M_D}{L} + \frac{pL}{2}$

La résolution de ces équations s'est effectuée par l'écriture matricielle : $\beta = \text{PRODUITMAT}(\text{INVERSEMAT}(\text{PRODUITMAT}(\text{TRANSPOSE}(X); X)); \text{PRODUITMAT}(\text{TRANSPOSE}(X); Y))$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} 4pL \\ 8pL \\ \frac{M_B}{L} + \frac{pL}{2} \\ \frac{M_C}{L} + 2pL \\ \frac{M_D}{L} + \frac{pL}{2} \end{bmatrix} \quad \beta = \begin{bmatrix} R_A \\ R_B \\ R_C \\ R_D \\ R_E \end{bmatrix}$$

Tablier

Sous charges permanentes

$$p = 1.97 \text{ t/ml}$$

Moments sur appuis (t.m/ml)					Moments en travée (t.m/ml)				Réactions d'appuis				
MA	MB	MC	MD	ME	MAB	MBC	MCD	MDE	RA	RB	RC	RD	RE
0	-3.91	-2.60	-3.91	0	2.60	1.30	1.30	2.60	3.33	9.69	7.87	9.69	3.33

Sous surcharges routières

$$q = 3.21 \text{ t/ml}$$

Moments sur appuis (t.m/ml)					Moments en travée (t.m/ml)				Réactions d'appuis				
MA	MB	MC	MD	ME	MAB	MBC	MCD	MDE	RA	RB	RC	RD	RE
0	-6.37	-4.25	-6.37	0	4.25	2.12	2.12	4.25	5.43	15.80	12.84	15.80	5.43

Radier

Sous charges permanentes

$$p = 3.26 \text{ t/ml}$$

Moments sur appuis (t.m/ml)					Moments en travée (t.m/ml)				Réactions d'appuis				
MA	MB	MC	MD	ME	MAB	MBC	MCD	MDE	RA	RB	RC	RD	RE
0	-6.45	-4.30	-6.45	0	4.30	2.15	2.15	4.30	5.50	16.01	13.01	16.01	5.50

Sous surcharges routières

$$q = 0.72 \text{ t/ml}$$

Moments sur appuis (t.m/ml)					Moments en travée (t.m/ml)				Réactions d'appuis				
MA	MB	MC	MD	ME	MAB	MBC	MCD	MDE	RA	RB	RC	RD	RE
0	-1.43	-0.95	-1.43	0	0.95	0.48	0.48	0.95	1.22	3.54	2.87	3.54	1.22

Piédroits B et D

➤ **Sous charges permanentes**

$$\text{Réaction d'appui du radier NB} = \text{ND} = \max(\text{RB}_{\text{radier}} ; \text{RB}_{\text{tablier}}) = 16.01 \text{ t}$$

➤ **Sous surcharges routières**

$$\text{Réaction d'appui du tablier NB} = \text{ND} = \max(\text{RB}_{\text{radier}} ; \text{RB}_{\text{tablier}}) = 15.80 \text{ t}$$

Piédroit central C

➤ **Sous charges permanentes**

$$\text{Réaction d'appui du radier NC} = \max(\text{RB}_{\text{radier}} ; \text{RB}_{\text{tablier}}) = 13.01 \text{ t}$$

➤ **Sous surcharges routières**

$$\text{Réaction d'appui du tablier NC} = \max(\text{RB}_{\text{radier}} ; \text{RB}_{\text{tablier}}) = 12.84 \text{ t}$$

Piédroits extérieurs A et E

➤ **Sous charges permanentes**

Effort normal

$$\text{Réaction d'appui du radier NA} = \text{NE} = \max(\text{RB}_{\text{radier}} ; \text{RB}_{\text{tablier}}) = 5.50 \text{ t}$$

Moments dû à la poussée des terres

$$M = \gamma \times h^3 \times k/6 = 0.33 \times 2 \times 2.8^3/6 = 2.44 \text{ t.m/ml}$$

➤ **Sous surcharges routières**

Effort normal

$$\text{Réaction d'appui du tablier NA} = \text{NE} = \max(\text{RB}_{\text{radier}} ; \text{RB}_{\text{tablier}}) = 5.43 \text{ t}$$

Moments dû à la force de freinage

Un seul véhicule peut freiner, la force de freinage à prendre en compte correspond à son propre poids $F = (2 \times 12) / (2.5 \times 4) = 2.4 \text{ t/ml}$

$$M = F \times h = 2.4 \times (2.5 + 0.3) = 6 \text{ t/ml}$$

➤ **Moment dû à la surcharge routière de remblai ($\sigma = 1 \text{ t/m}^2$)**

$$M = k \times \sigma \times h^2/2 = 0.333 \times 1 \times (2.5 + 0.3)^2/2 = 1.305 \text{ t/ml}$$

Calcul des armatures du tablier et du radier

Les sections sont calculées pour une bande $b = 1\text{m}$ de largeur et pour une hauteur $h = 0.3\text{m}$

Armatures du Tablier

➤ **Mi-travée A-B et D-E**

$$M_s = 1.30 + 1.20 \times 2.12 = 7.7 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 7.7 \times 10^5 / (100 \times 27^2 \times 2155.6) = 0.0048$$

$$\lambda = 1 + 30 \times \mu_1 = 1.144$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 34.76^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.32$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.89$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.03$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 6.76 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_s / (\beta_L \times d \times \sigma_s) = 14.86 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.45 \text{ cm}^2$$

➤ **Mi-travée B-C et C-D**

$$M_s = 1.30 + 1.20 \times 2.12 = 3.8 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 3.8 \times 10^5 / (100 \times 27^2 \times 2155.6) = 0.0024$$

$$\lambda = 1 + 30 \times \mu_1 = 1.07$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 25.394^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.246$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.92$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.02$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 4.68 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_s / (\beta_L \times d \times \sigma_s) = 7.09 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.45 \text{ cm}^2$$

➤ **Sur appui B et D**

$$M_s = 3.91 + 1.20 \times 6.37 = 11.554 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 0.007$$

$$\lambda = 1 + 30 \times \mu_1 = 1.22$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 42.16^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.39$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.87$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.042$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 9.18 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_s / (\beta_L \times d \times \sigma_s) = 22.82 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.45 \text{ cm}^2$$

➤ **Sur appui C**

$$M_s = 2.60 + 1.20 \times 4.25 = 7.7 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 7.7 \times 10^5 / (100 \times 27^2 \times 2155.6) = 0.0048$$

$$\lambda = 1 + 30 \times \mu_1 = 1.144$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 34.76^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.32$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.89$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.03$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 6.76 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_s / (\beta_L \times d \times \sigma_s) = 14.86 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.45 \text{ cm}^2$$

Armatures du radier

➤ **Mi-travée A-B et D-E**

$$M_s = 4.30 + 1.20 \times 0.95 = 5.4 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 0.0034$$

$$\lambda = 1 + 30 \times \mu_1 = 1.10$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 30.44^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.28$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.90$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.025$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 5.58 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_s / (\beta_L \times d \times \sigma_s) = 10.31 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.45 \text{ cm}^2$$

➤ **Mi-travée B-C et C-D**

$$M_s = 2.15 + 1.20 \times 0.48 = 2.72 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 0.001$$

$$\lambda = 1 + 30 \times \mu_1 = 1.05$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 22.08^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.19$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.93$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.015$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 3.37 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_s / (\beta_L \times d \times \sigma_s) = 5 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.45 \text{ cm}^2$$

➤ **Sur appui B et D**

$$M_s = 6.45 + 1.20 \times 1.43 = 8.16 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 0.005$$

$$\lambda = 1 + 30 \times \mu_1 = 1.15$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 36.43^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.356$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.88$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.036$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 7.9 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_s / (\beta_L \times d \times \sigma_s) = 15.92 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.45 \text{ cm}^2$$

➤ **Sur appui C**

$$M_s = 4.30 + 1.20 \times 0.95 = 5.4 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 0.0034$$

$$\lambda = 1 + 30 \times \mu_1 = 1.10$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 30.44^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.28$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.90$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.025$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 5.58 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_s / (\beta_L \times d \times \sigma_s) = 10.31 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.45 \text{ cm}^2$$

Résultats des calculs

Tablier

Désignation	Moments (t.m/ml)	Sections d'aciers calculées A_s (cm ² /ml)	Choix des armatures	Au réelle (cm ² /ml)
Travée AB et DE	7.7	14.86	5HA20	15.70
Travée BC et CD	3.8	7.09	5HA14	7.69
Appui B et D	11.55	22.82	5HA17+5HA16	23.4
Appui C	7.7	14.86	5HA20	15.70

Radier

Désignation	Moments (t.m/ml)	Sections d'aciers calculées A_s (cm ² /ml)	Choix des armatures	As réelle (cm ² /ml)
Travée AB et DE	5.4	10.31	7HA14	10.77
Travée BC et CD	2.72	5	7HA10	5.4
Appui B et D	8.16	15.92	8HA16	16.08
Appui C	5.4	10.31	7HA14	10.77

Calcul des armatures des piédroits B, C, D

Les piédroits sont considérés au mètre linéaire comme des poteaux de 100 x 30

Désignation	Formules	Résultats	Observations
N _{max}	$\alpha \times Br \times f_{c28} / (0.9 \times 1.5)$	463.85t	N _{max} est l'effort normal maximal dans le béton
Br	$(100 - c) \times (30 - c)$	2619 cm ²	Br est la section réduite du poteau
α	$0.85 / (1 + 0.20 \times (\lambda / 35)^2)$	0.80	α est le coefficient réducteur
λ	$3.46 \times L_f / b$	20.18	λ est l'élançement
L _f	$0.7 \times h$	175 cm	L _f est la longueur de flambement
Nu	$1.35 \times N_g + 1.6 \times N_q$	Nu(B) = Nu (D) = 46.89 t Nu (C) = 38.10 t	Nu est l'effort normal ultime
Au	$= A_{smin} = 4 \times 2 \times (h + b)$	10.4cm ²	Au est la section d'acier qu'il faut dans les piédroits Au = A _{smin} car N _{max} > Nu(B) > Nu(C)
Au'	Au/2	5.2cm ²	Au' est la section d'acier qu'il faut sur chacune des faces des piédroits

Calcul des armatures des piédroits extérieurs A et E

$$M_s = 2.44 + 1.20 \times (6 + 1.3) = 11.20 \text{ t.m/ml}$$

$$N_s = 5.50 + 1.2 \times 5.43 = 12.02 \text{ t}$$

$$e = M_s / N_s = 0.93$$

$$M = M_s + N_s (d - h/2) = 12.65 \text{ t.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_s / (b \times d^2 \times \sigma_s) = 0.007$$

$$\lambda = 1 + 30 \times \mu_1 = 1.21$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 41.62^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.38$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.87$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.04$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 8.8 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_s / (\beta_L \times d \times \sigma_s) = 22.03 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{smin} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.45 \text{ cm}^2$$

Choix des armatures des piédroits

Désignation	Section d'aciers calculées As (cm ²)	Armatures	As réelle (cm ²)
Piédroits A et E	22.03	7HA20	22.10
Piédroits B, C et D	5.2	7HA10	5.5

Vérification du non poinçonnement du tablier par le système Br

Cette vérification sera effectuée à l'ELS suivant la condition $N_u \leq 0.045 \times U_c \times h \times f_{c28} / \gamma_b$

N_u = valeur de calcul, à l'état limite ultime, de la charge localisée

U_c : périmètre du rectangle d'impact $a \times b$ au niveau du feuillet moyen

$$N_u = 11.04 + 1.2 \times 12.6 = 26.16 \text{ t} = 0.26 \text{ MN}$$

$$U_c = 2 \times [(0.3 + 0.3/2 + 1.27) + (0.6 + 0.3/2 + 1.27)] = 7.48 \text{ m}$$

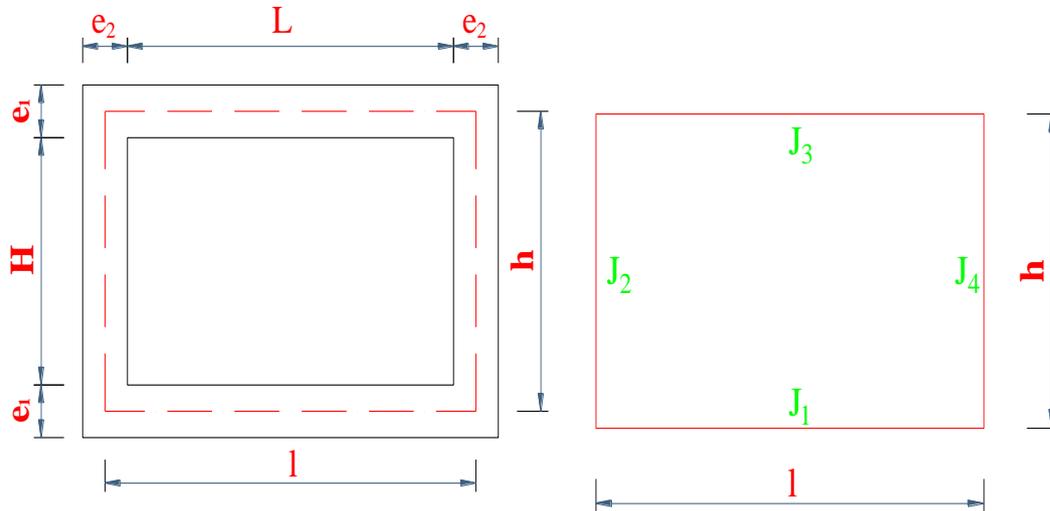
$$h = 1.27 + 0.3 / 2 = 1.42 \text{ m}$$

$$0.045 \times U_c \times h \times f_{c28} / \gamma_b = 9.6 \text{ MN}$$

$0.103 \text{ MN} < 9.6 \text{ MN}$ \longrightarrow le tablier ne subira pas de poinçonnement.

« FORMULAIRE DES CADRES SIMPLES » DE KLEINLOGEL : dalot à une ouverture

➤ **Schéma statique de calcul du cadre simple**



Dalot type

- Hauteur entre fibres moyennes $h = H + e_1 = 2.5 + 0.3 = 2.8$ m
- Longueur entre fibres moyennes $l = L + e_2 = 4 + 0.3 = 4.3$ m

$$J_i = \frac{b_i \times E_i^3}{12} \quad \text{Inertie de l'élément } i \text{ avec : } b_i = 1.00 \text{ m}$$

E_i = Epaisseur de l'élément i ;

h = Hauteur entre fibres moyennes ;

l = Longueur entre fibres moyennes.

$$J_i = \frac{1.00 \times 0.30^3}{12} = 2.25 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \quad ; \quad J_1 = J_2 = J_3 = J_4 = J_i = 2.25 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

➤ **Définition des constantes**

$$\mathbf{k}_1 = \frac{J_3}{J_1} = \frac{0.002250}{0.002250} = \mathbf{1} ;$$

$$\mathbf{k}_2 = \frac{J_3}{J_2} \times \frac{h}{l} = 1 \times \frac{2.8}{4.3} = \mathbf{0.651} ;$$

$$\mathbf{K}_1 = 2\mathbf{k}_2 + 3 = 2 \times 0.651 + 3 = \mathbf{4.302} ;$$

$$\mathbf{K}_2 = 3k_1 + 2k_2 = 3 \times 1 + 2 \times 0.651 = \mathbf{4.302} ;$$

$$\mathbf{K}_3 = 3k_2 + 1 - \frac{k_1}{5} = 3 \times 0.651 + 1 - \frac{1}{5} = \mathbf{2.753} ;$$

$$\mathbf{K}_4 = \frac{6k_1}{5} + 3k_2 = 6 \times \frac{1}{5} + 3 \times 0.651 = \mathbf{3.153} ;$$

$$\mathbf{F}_1 = K_1 K_2 - k_2^2 = 4.302 \times 4.302 - 0.651^2 = \mathbf{18.086} ;$$

$$\mathbf{F}_2 = 1 + k_1 + 6k_2 = 1 + 1 + 6 \times 0.651 = \mathbf{5.907}$$

➤ Conventions

Les moments fléchissant sont positifs quand ils provoquent de la traction dans la partie interne du cadre ;

- N_1 = Effort normal dans le radier ;
- N_{2a} = Effort normal dans le piédroit de gauche ;
- N_{2b} = Effort normal dans le piédroit de droite ;
- N_3 = 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.

Détermination des charges, efforts et sollicitations

Sous actions permanentes

Charges permanentes dues au tablier

$$g_1 = 19.80 \text{ KN/ml}$$

▪ Moments sur appuis

$$M_A = M_D = - g_1 \times l^2 \times (k_1 K_1 - k_2) / 4F_1 = - 18.47 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_B = M_C = - g_1 \times l^2 \times (K_2 - k_1 k_2) / 4F_1 = - 18.47 \text{ KN.m/ml}$$

▪ Détermination des efforts normaux

$$N_1 = - N_3 = (M_B - M_A) / h = 0 \text{ KN}$$

$$N_{2a} = N_{2b} = g_1 \times l / 2 = 42.57 \text{ KN}$$

▪ Détermination des moments à mi- portée

$$M_{B-C} = g_1 \times l^2 / 8 + M_B = 27.28 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-D} = g_1 \times l^2 / 8 + M_A = 27.28 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-B} = (M_A + M_B) / 2 = -18.47 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{C-D} = (M_C + M_D) / 2 = -18.47 \text{ KN.m/ml}$$

Sous poids mort des piédroits

Charges permanentes dues aux piédroits

$$P = e_2 \times h \times 2.5 \times 1.00 = 0.3 \times 2.8 \times 2.5 \times 1.00 = 21 \text{ KN}$$

$$R_s = 2P / l = 2 \times 2.1 / 4.3 = 9.7 \text{ KN/ml}$$

▪ **Détermination des moments d'appui**

$$M_A = M_D = -P \times l \times k_1 \times K_1 / 2F_1 = -10.7 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_B = M_C = P \times l \times k_1 \times k_2 / 2F_1 = 1.6 \text{ KN.m/ml}$$

▪ **Détermination des efforts normaux**

$$N_1 = -N_3 = 3P \times l \times k_1 \times (1+k_2) / 2 \times h \times F_1 = 4.4 \text{ KN}$$

$$N_{2a} = N_{2b} = P = 21 \text{ KN}$$

▪ **Détermination des moments à mi-portée**

$$M_{B-C} = (M_B + M_C) / 2 = 1.6 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-D} = (M_A + M_D) / 2 + R_s \times l^2 / 8 = 11.83 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-B} = (M_A + M_B) / 2 = -4.55 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{C-D} = (M_C + M_D) / 2 = -4.55 \text{ KN.m/ml}$$

Poids mort du radier

Valeur de charge

$$p = e_1 \times 1 \times 2.5 = 0.3 \times 1 \times 2.5 = 7.5 \text{ KN/ml}$$

$$P = p l / 2 = 2 \times 0.75 / 2 = 7.5 \text{ KN}$$

$$M_A = M_D = -g \times l^2 \times (k_1 K_1 - k_2) / 4F_1 = -6.99 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_B = M_C = -g \times l^2 \times (K_2 - k_1 k_2) / 4F_1 = -6.99 \text{ KN.m/ml}$$

▪ **Détermination des efforts normaux**

$$N_1 = -N_3 = (M_B - M_A) / h = 0 \text{ KN}$$

$$N_{2a} = N_{2b} = g \times l / 2 = 16.12 \text{ KN}$$

▪ **Détermination des moments à mi- portée**

$$M_{B-C} = g \times l^2 / 8 + M_B = 10.33 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-D} = g \times l^2 / 8 + M_A = 10.33 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-B} = (M_A + M_B) / 2 = -6.99 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{C-D} = (M_C + M_D) / 2 = -6.99 \text{ KN.m/ml}$$

Sous l'action des terres

$$\sigma_1 = K \times \gamma_d \times (0.50 + 0.15) = 4.329 \text{ KN/m}^2/\text{ml}$$

$$\sigma_2 = K \times \gamma_d \times (h + 0.65) = 22.97 \text{ KN/m}^2/\text{ml}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 = 18.64 \text{ KN/m}^2/\text{ml}$$

▪ **Détermination des moments d'appui**

$$M_A = M_D = -k_2(k_2+3) \times \sigma_1 \times h^2 / 4F_1 - k_2(3k_1+8) \times \Delta\sigma \times h^2 / 20F_1 = -3.74 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_B = M_C = -k_2(3k_1+k_2) \times \sigma_1 \times h^2 / 4F_1 - k_2(7k_1+2k_2) \times \Delta\sigma \times h^2 / 20F_1 = -3.30 \text{ KN.m/ml}$$

▪ **Détermination des moments à mi- portée**

$$M_{B-C} = (M_B + M_C) / 2 = -3.30 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-D} = (M_A + M_D) / 2 = -3.74 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-B} = (M_A + M_B) / 2 + \sigma_1 \times h^2 / 8 + \Delta\sigma \times h^2 / 12 = 12.91 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{C-D} = M_{A-B} = 12.91 \text{ KN.m/ml}$$

▪ **Détermination des efforts normaux**

$$N_1 = (\sigma_1 + 2\sigma_2)h / 6 + (M_B - M_A) / h + (M_D - M_A) / l = 23.62 \text{ KN}$$

$$N_3 = (2\sigma_1 + \sigma_2)h / 6 + (M_A - M_B) / h + (M_C - M_B) / l = 14.61 \text{ KN}$$

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

Sous l'action du convoi de camion de type Bc

Valeur de la surcharge

On peut disposer transversalement 2 files de 2 camions type Bc de 30T.

Soit 8 pneus de 6T c'est-à-dire $P = 480 \text{ KN}$

Encombrement de 5,00 m

Coefficient $b_c = 1.10$;

Charge répartie : $q' = 480 \times 1.10 / (4.3 \times 5) = 22.32 \text{ KN/m}^2$

Coefficient de majoration Dynamique : $\delta = 1 + \frac{0.40}{1+0.20L} + \frac{0.60}{1+\frac{4G}{Q}}$

$L = \text{Max}(L_R ; \text{portée de la travée}) = 7.00 \text{ m}$

$G = \text{poids de la dalle} + \text{poids remblai} + \text{guides roues} + \text{garde-corps} + \text{étanchéité} = 595.98 \text{ KN}$

$Q = 480 \text{ KN}$

$\delta = 1.29$

$q = \delta q' = 1.27 \times 2.45 = 3.11 \text{ t/ml}$

▪ Détermination des moments d'appui

$M_A = M_D = -q \times l^2 \times (k_1 K_1 - k_2) / 4F_1 = -29.02 \text{ KN.m/ml}$

$M_B = M_C = -q \times l^2 \times (K_2 - k_1 k_2) / 4F_1 = -29.02 \text{ KN.m/ml}$

▪ Détermination des efforts normaux

$N_1 = -N_3 = 0 \text{ KN}$

$N_{2a} = N_{2b} = q \times l / 2 = 66.86 \text{ KN}$

▪ Détermination des moments à mi- portée

$M_{B-C} = q \times l^2 / 8 + M_B + M_C / 2 = 42.8 \text{ KN.m/ml}$

$M_{A-D} = q \times l^2 / 8 + M_A + M_D / 2 = 42.8 \text{ KN.m/ml}$

$M_{A-B} = (M_A + M_B) / 2 = -29.02 \text{ KN.m/ml}$

$M_{C-D} = M_{A-B} = -29.02 \text{ KN.m/ml}$

Sous l'action de la surcharge routière de remblai d'accès

Remblai d'accès d'un côté

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

Pas d'effet de freinage – pas de force centrifuge – pas de coefficient dynamique.

$$\sigma = K \times q = 0.333 \times 1 = 3.3 \text{ KN/m}^2$$

▪ **Détermination des moments d'appui**

$$M_A = q \times h^2/4 \times [-k_2(k_2 + 3) / 2F_1 - (K_3 + k_2)/F_2] = -4.2 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_D = q \times h^2/4 \times [-k_2(k_2 + 3) / 2F_1 + (K_3 + k_2)/F_2] = 3.33 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_B = q \times h^2/4 \times [-k_2(3k_1 + k_2) / 2F_1 + (K_4 - k_2)/F_2] = 2.33 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_C = q \times h^2/4 \times [-k_2(3k_1 + k_2) / 2F_1 - (K_4 - k_2)/F_2] = -3.2 \text{ KN.m/ml}$$

▪ **Détermination des efforts normaux**

$$N_3 = (M_D - M_C) / h = 2.3 \text{ KN}$$

$$N_1 = q \times h - N_3 = 6.99 \text{ KN}$$

$$N_{2a} = -N_{2b} = (M_B - M_C) / l = 1.28 \text{ KN}$$

▪ **Détermination des moments à mi- portée**

$$M_{B-C} = (M_B + M_C) / 2 = -0.429 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-D} = (M_A + M_D) / 2 = -0.429 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-B} = \sigma \times h^2 / 8 + (M_A + M_B) / 2 = 2.33 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{C-D} = (M_D + M_C) / 2 = 0.070 \text{ KN.m/ml}$$

Sous l'action des forces de freinage

On considère le freinage de 2×2 essieux de 12t placées côtes à côtes sur un encombrement de 5.00m :

$$F = 12 \times 2 / 2.55 = 96 \text{ KN/ml}$$

▪ **Détermination des moments d'appui**

$$M_D = -M_A = F \times h \times K_3 / 2F_2 = 62.6 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_B = -M_C = F \times h \times K_4 / 2F_2 = 71.7 \text{ KN.m/ml}$$

▪ **Détermination des efforts normaux**

$$N_1 = -N_3 = F / 2 = 48 \text{ KN}$$

$$N_{2a} = -N_{2b} = F \times h \times K_4 / l \times F_2 = 33.4 \text{ KN}$$

▪ **Détermination des moments à mi- portée**

$$M_{B-C} = 0 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-D} = 0 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{A-B} = -M_{C-D} = (M_A + M_B) / 2 = 4.5 \text{ KN.m/m}$$

Calcul des armatures

Données de calcul

$$b = 1.00 \text{ m}; h = 0.30 \text{ m}; d = 0.9h = 0.27 \text{ m}; f_e = 400 \text{ MPa}; \sigma_s = 215.56 \text{ MPa}$$

$$f_{c28} = 30 \text{ MPa}; \sigma_{bc} = 18 \text{ MPa}$$

La fissuration étant préjudiciable, nous ferons nos calculs de Béton armé à l'ELS.

Calcul des armatures du tablier

Aux abouts B et C (lit supérieur)

$$M_{S_{\max}} = -151.91 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = 70.589 \text{ KN.m/ml}$$

$$e = M_s / N_s = -2.15 > 4h \text{ d'où flexion simple}$$

$$y_{RB} = d \times \sigma_{bc} / (\sigma_s / 15 + \sigma_{bc}) = 0.14$$

$$M_{RB} = 1 \times b \times y_{RB} \times \sigma_{bc} (d - y_{RB} / 3) / 2 = 0.29 \text{ MN.m} > M_s, \text{ pas besoin d'aciers comprimés}$$

$$A_s = M_s / ((d - y_{RB} / 3) \times \sigma_s) = 32.04 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la flexion simple

$$A_{\min} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.72 \text{ cm}^2$$

Vérification :

$$A_s > A_{\min} = 32.04 \text{ cm}^2$$

Choix des armatures : A = 16HA16 (32.17 cm²), esp = 7 cm

A mi- travée B-C (lit inférieur)

$$M_s = 87.376 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = 70.589 \text{ KN.m/ml}$$

$$e = M_s / N_s = 1.22 > 4 \times h \text{ d'où flexion simple}$$

$$y_{RB} = d \times \sigma_{bc} / (\sigma_s / 15 + \sigma_{bc}) = 0.14$$

$$M_{RB} = 1 \times b \times y_{RB} \times \sigma_{bc} (d - y_{RB}/3) / 2 = 0.29 \text{ MN.m} > M_s, \text{ pas besoin d'aciers comprimés}$$

$$A_s = M_s / ((d - y_{RB}/3) \times \sigma_s) = 18.43 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la flexion simple

$$A_{min} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 2.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 3.72 \text{ cm}^2$$

Vérification :

$$A_s > A_{min} = 18.43 \text{ cm}^2$$

Choix des armatures : A = 12HA14 (18.47 cm²), esp = 8 cm

Calcul des armatures du radier

Aux abouts A et D (lit inférieur)

$$M_{S_{max}} = -154.986 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = -29.563 \text{ KN.m/ml}$$

$$e = M_s / N_s = 5.24 > 4h \text{ d'où flexion simple}$$

$$y_{RB} = d \times \sigma_{bc} / (\sigma_s/15 + \sigma_{bc}) = 0.14$$

$$M_{RB} = 1 \times b \times y_{RB} \times \sigma_{bc} (d - y_{RB}/3) / 2 = 0.28 \text{ MN.m} > M_s, \text{ pas besoin d'aciers comprimés}$$

$$A_s = M_s / ((d - y_{RB}/3) \times \sigma_s) = 32.68 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la flexion simple

$$A_{min} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 3.72 \text{ cm}^2$$

Vérification :

$$A_s > A_{min} = 32.68 \text{ cm}^2$$

Choix des armatures : A = 11HA16+7HA14 (32.9 cm²), esp = 7 cm

Mi- travée A et D (lit supérieur)

$$M_s = 97.15 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = -29.563 \text{ KN.m/ml}$$

$$e = M_s / N_s = -3.28 > 4h \text{ d'où flexion simple}$$

$$y_{RB} = d \times \sigma_{bc} / (\sigma_s/15 + \sigma_{bc}) = 0.14$$

$$M_{RB} = 1 \times b \times y_{RB} \times \sigma_{bc} (d - y_{RB}/3) / 2 = 0.28 \text{ MN.m} > M_s, \text{ pas besoin d'aciers comprimés}$$

$$A_s = M_s / ((d - y_{RB}/3) \times \sigma_s) = 20.49 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la flexion simple

$$A_{min} = 0.23 \times f_{t28} \times b \times d / f_e = 2.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 3.72 \text{ cm}^2$$

Vérification :

$$A_s > A_{min} = 20.49 \text{ cm}^2$$

Choix des armatures : A = 14HA14 (21.55 cm²), esp = 8 cm

Calcul des armatures des piédroits

Piédroit droit C-D

$$M_s = -57.41 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = 201.523 \text{ KN.m/ml}$$

$$e = M_s / N_s = -0.28 < 4h \text{ d'où flexion composée avec compression}$$

$$M_{sA} = M_s + N_s (d - h/2) = 81.60 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_{sA} / b \times d^2 \times \sigma_s = 0.0044$$

$$\lambda = 1 + 30\mu_1 = 1.13$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 34.05^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.32$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.89$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.03$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 7.84 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_{sA} / \beta_L \times d \times \sigma_s = 15.69 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A = A_s - N_s / \sigma_s = 6.34 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la flexion composée

$$A_{min} = 0.23 \times (f_{t28}/f_e) \times b \times d \times (e - 0.45d) / (e - 0.185d) = 2.56 \text{ cm}^2$$

$$\text{Vérification : } A > A_{min}, A = 6.34 \text{ cm}^2$$

Choix des armatures : A = 6HA12 (6.79 cm²), esp = 16 cm

Piédroit gauche A-B

$$M_s = -49.148 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = 158.390 \text{ KN.m/ml}$$

$$e = M_s / N_s = 0.31 < 4h \text{ d'où la section est partiellement comprimée}$$

$$M_{sA} = M_s + N_s (d - h/2) = 68.15 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mu_1 = M_{sA} / b \times d^2 \times \sigma_s = 0.0037$$

$$\lambda = 1 + 30\mu_1 = 1.15$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = 31.44^\circ$$

$$\alpha_L = 1 + 2\sqrt{\lambda} \times \cos(240^\circ + \frac{\varphi}{3}) = 0.28$$

$$\beta_L = 1 - \alpha_L / 3 = 0.90$$

$$k = \alpha_L / (15 \times (1 - \alpha_L)) = 0.026$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = k \times \sigma_s = 6.48 \text{ MPa}$$

$\bar{\sigma}_{bc} < \sigma_{bc}$ alors il n'y a pas d'armatures comprimées

$$A_s = M_{sA} / \beta_L \times d \times \sigma_s = 12.92 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A = A_s - N_s / \sigma_s = 5.57 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la flexion composée

$$A_{min} = 0.23 \times (f_{t28}/f_e) \times b \times d \times (e - 0.45d) / (e - 0.185d) = 2.56 \text{ cm}^2$$

Vérification : $A > A_{min}$

Choix des armatures : $A = 5HA12 (5.65 \text{ cm}^2)$, esp = 20cm

Note explicative sur le ferrailage du dalot

Dans le souci de faciliter la mise en œuvre et d'assurer la résistance de notre dalot, nous avons décidé d'harmoniser les aciers au niveau des parties suivantes :

- ✓ **Le tablier : abouts et mi-travée**
- ✓ **Radier : abouts et mi-travée**
- ✓ **Les piédroits :**

Ainsi, nous avons récapitulé tous ces éléments dans le tableau ci-dessous :

Eléments		Aciers calculés	Aciers retenus
Tablier	Abouts B et C	16HA16	16HA16
	Mi-travée B-C	12HA14	12HA14
Radier	Abouts A et D	11HA16+7HA14	17HA16
	Mi-travée A-D	14HA14	14HA14
Piédroits	Travée C-D	6HA12	6HA12
	Travée A-B	5HA12	5HA12

✓ *Calcul des aciers de répartition*

Pour les dalles (nous considérons notre dalot comme une dalle), le diamètre des armatures de répartition est donné par la formule suivante :

$$\Phi = 0.1 \times h_0 = 0.1 \times 0.3 = 0.03 \text{ cm, nous adoptons } \Phi = \mathbf{HA8}$$

✓ *Calcul de l'espacement minimum des aciers*

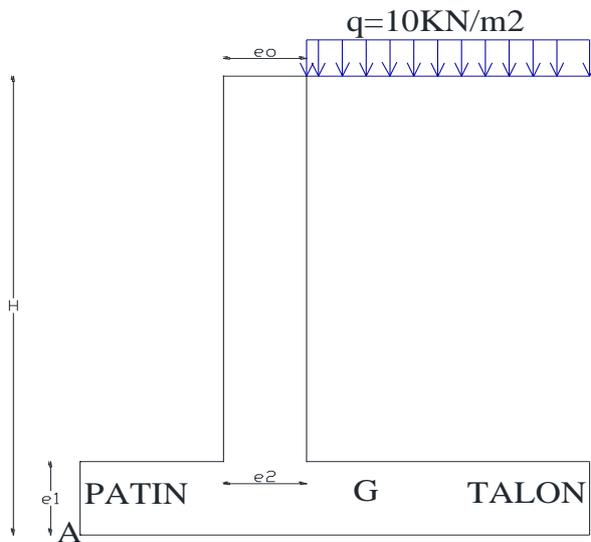
L'espacement minimum est donné par la formule suivante, une fissuration préjudiciable :

$$St = \min (2h; 25\text{cm}) = \min (6 \text{ cm}; 25\text{cm}) = 6 \text{ cm}$$

MUR EN AILE

Les murs en aile sont calculés comme étant des murs de soutènement. Les murs supportent un terrain végétal ordinaire dont les caractéristiques sont :

- angle du talus naturel $\varphi = 45^\circ$
- poids spécifique des terres $\gamma = 14.5 \text{KN/m}^3$
- coefficient de poussée des terres $k_a = \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) = 0.17$
- surcharge routière sur le terrain 10KN/m^2



Prédimensionnement

Hauteur totale du mur (voile + semelle) $H = 3 \text{m}$

Épaisseurs $e_0 = e_1 = e_2 = H/12 = 0.25 \text{m}$

Largeur patin $b = H/8 = 0.375 \text{m}$

Largeur semelle $B = (0.2 + 0.45 \times H) \times 1.15 = 1.78 \text{m}$

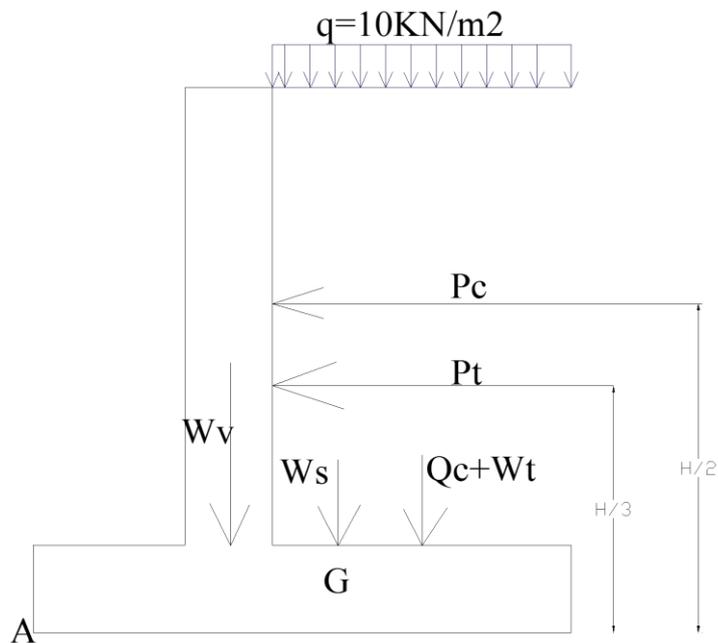
Largeur talon $b' = B - b - e_1 = 1.16 \text{m}$

Les actions permanentes sont pondérées :

- par 1.35 pour les actions défavorables (poussées des terres)
- par 1 pour les actions favorables (poids du mur, poids des terres sur la semelle).

Les actions variables sont pondérées par 1.5

Inventaire des forces



- poussée des terres $P_t = \gamma \times H^2 \times k_a/2 = 14.5 \times 3^2 \times 0.17/2 = 11.09 \text{ kN/ml}$
- poussée des surcharges $P_c = q \times H \times k_a = 10 \times 3 \times 0.17 = 5.10 \text{ kN/ml}$
- poids du voile $W_v = 25 \times (3 - 0.25) \times 0.25 = 17.19 \text{ kN/ml}$
- poids de la semelle $W_s = 25 \times 0.25 \times 1.78 = 11.14 \text{ kN/ml}$
- poids des terres sur patin $W_t = \gamma \times b' \times (H - e_1) = 14.5 \times 1.16 \times (3 - 0.25) = 46.16 \text{ kN/ml}$
- surcharge sur talon $Q_c = q \times b' = 10 \times 1.16 = 11.6 \text{ kN/ml}$

Vérification de la stabilité du mur

Stabilité au renversement

La stabilité au renversement sera vérifiée lorsque la condition **Moment stabilisant/ Moment renversant** ≥ 2 .

$$M_{\text{stabilisant}} = W_v \times e_v + W_s \times e_s + W_t \times e_t + 1.5 \times Q_c \times e_t$$

$$M_{\text{renversant}} = 1.35 \times P_t \times h_t + 1.5 \times P_c \times h_c$$

Avec e_v , e_s , e_t , h_t , h_c les bras de levier respectifs de W_v , W_s , W_t , P_t , P_c par rapport au point

A

- $ht = H/3 = 1\text{m}$
- $hc = H/2 = 1.50\text{m}$
- $ev = b + e_0/2 = 0.50\text{m}$
- $et = b + e_0 + b'/2 = 1.20\text{m}$
- $es = B/2 = 0.89\text{m}$

$M_{stabilisant} / M_{renversant} = 94.98 / 26.45 = 3.6 > 2$ donc le mur résiste au renversement.

Stabilité au glissement

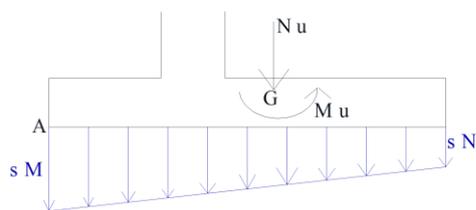
Elle sera vérifiée à condition que le **rapport Force renversement / Force stabilisant < coefficient de frottement sol béton (f)**.

Type de sol	Valeur de f
Argile humide	0.3
Argile sèche	0.5
Sable	0.4
Gravier	0.6

- $F_{renversant} = 1.35 \times Pt + 1.5 \times Pc = 22.62\text{KN}$
- $F_{stabilisant} = Wv + Ws + Wt + Qc = 86.1\text{KN}$
- $F_{renversant} / F_{stabilisant} = 0.26$

L'ouvrage étant localisé sur du sable nous retenons un coefficient $f = 0.4$, le rapport est effectivement inférieur à f donc le mur résiste également au glissement.

Calcul de la semelle



Au centre de gravité G de la semelle, les effets conjugués des efforts stabilisants et des efforts de renversement peuvent se ramener à :

- un effort normal $Nu = 1.35 \times (Wv + Ws + Wt) + 1.5 \times Qc = 117.9\text{KN}$

- un moment $M_u = 1.35 \times (W_v \times e_v + W_s \times e_s + W_t \times e_t + P_t \times e_t) + 1.5 \times (Q_c \times e_t + P_c \times h_c) = 57.6 \text{KN.m/ml}$

Les bras de levier dans le calcul de la semelle sont évalués par rapport au centre de gravité G de la semelle.

- $h_t = H/3 - e_1/2 = 0.88 \text{m}$
- $h_c = H/2 - e_1/2 = 1.38 \text{m}$
- $e_v = B/2 - (b + e_0/2) = 0.39 \text{m}$
- $e_t = e_0 + b'/2 - e_v = 0.31 \text{m}$
- $e_s = 0$

La répartition des contraintes au sol sous la semelle n'est pas uniforme mais trapézoïdale.

$$\sigma_M = \frac{Nu}{B} + \frac{6 \cdot Mu}{B^2} = 174.92 \text{KPa}$$

$$\sigma_m = \frac{Nu}{B} - \frac{6 \cdot Mu}{B^2} = -89.11 \text{KPa}$$

Contrainte admissible du sol $q_s = 0.2 \text{MPa}$

Vérifier $\sigma_{3/4} < q_s$ implique semelle bien dimensionnée

Armatures du talon

Le talon se calcule comme une dalle en console encadrée sur le rideau sur une bande de 1m de largeur et sur une hauteur égale à l'épaisseur ; on négligera le poids propre de la semelle et du mur. Les sollicitations résultantes entre les efforts verticaux sur le talon et la réaction du sol sont :

- $M_{ut} = (1.35 \times W_t + 1.5 \times Q_c) \times b'/2 - \sigma_m \times b'^2/2 - (\sigma_M - \sigma_m) \times b'^3 / (6 \times B) = 67.52 \text{KN.m}$
- $V_{ut} = 1.35 \times W_t + 1.5 \times Q_c - \sigma_m \times b' - (\sigma_M - \sigma_m) \times b'^2 / (2 \times B) = 83.59 \text{KN}$

Désignation	Formules	Résultats	Observations
d	Min (e - 5 ; 0,9 x e)	0.20m	d est la hauteur utile
σ_{bc}	$0.85 \times f_{c28}/1.5$	17 MPa	σ_{bc} est la contrainte de compression du béton
σ_s	$f_e/1.15$	347.83 MPa	σ_s est la contrainte de traction de l'acier

σ_s	$\min \begin{cases} \frac{2}{3} f_e \\ 110\sqrt{\eta \times f_{t28}} \end{cases}$	215,56 MPa	σ_s est la contrainte limite de l'acier $\eta = 1,6$
σ_{bc}	$0,6 \times f_{c28}$	18 MPa	σ_{bc} est la contrainte limite du béton à 28 jours.
μ	$M_{ut} / (b \times d^2 \times \sigma_{bc})$	0.10	μ est le moment limite
α	$1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu})$	0.13	
Z	$d \times (1 - 0.4 \times \alpha)$	0.19	Z est le bras de levier des aciers
At	$M_{ut} / (Z \times \sigma_s)$	10.24cm ²	At est la section d'acier qu'il faut dans le talon
Ar	$\text{Max} (At / 4 ; 0.08 \times e)$	2.56 cm ²	Ar est la section de répartition
	$0.07 \times d \times f_{c28} / 1.5$	0.28MN	
$V_{ut} < 0.07 \times d \times f_{c28} / 1.5$	Pas d'aciers transversaux		

Armatures du patin

On négligera le poids propre de la semelle et du mur. Les sollicitations résultantes entre les efforts verticaux sur le talon et la réaction du sol sont :

- $M_{up} = (\sigma_M \times (1 - b/B) + \sigma_m \times b/B) \times b^2/B + (\sigma_M - \sigma_m) \times b^3/(2 \times B) = 13.32 \text{KN.m}$
- $V_{up} = (\sigma_M \times (1 - b/B) + \sigma_m \times b/B) \times b + (\sigma_M - \sigma_m) \times b^2/(2 \times B) = 61.25 \text{KN.m}$

Désignation	Formules	Résultats	Observations
d	$\text{Min} (e - 5 ; 0,9 \times e)$	0.20m	d est la hauteur utile
σ_{bc}	$0.85 \times f_{c28}/1.5$	17 MPa	σ_{bc} est la contrainte de compression du béton
σ_s	$f_e/1.15$	347.83 MPa	σ_s est la contrainte de traction de l'acier
σ_s	$\min \begin{cases} \frac{2}{3} f_e \\ 110\sqrt{\eta \times f_{t28}} \end{cases}$	215,56 MPa	σ_s est la contrainte limite de l'acier $\eta = 1,6$

σ_{bc}	$0,6 \times f_{c28}$	18 MPa	σ_{bc} est la contrainte limite du béton à 28 jours.
μ	$M_{up} / (b \times d^2 \times \sigma_{bc})$	0.011	μ est le moment limite
α	$1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu})$	0.024	
Z	$d \times (1 - 0.4 \times \alpha)$	0.198	Z est le bras de levier des aciers
A_p	$M_u / (Z \times \sigma_s)$	1.93cm ²	A_p est la section d'acier qu'il faut dans le patin
A_r	$\text{Max} (A_t / 4 ; 0.08 \times e)$	3.04 cm ²	A_r est la section de répartition
	$0.07 \times d \times f_{c28} / 1.5$	0.28MN	
$V_{up} < 0.07 \times d \times f_{c28} / 1.5$	Pas d'aciers transversaux		

Calcul du rideau

Le voile vertical, retenant les terres, est armé sur les deux (02) faces :

- côté terre : les armatures principales sont placées verticalement, les aciers de répartition sont horizontaux.
- sur la face avant : on place des armatures de peau (ferraillage forfaitaire) pour limiter la fissuration.

Armatures principales

Le rideau est considéré comme une console encastrée sur la semelle.

$$M_u = 1.35 \times P_t \times (h_t - e) + 1.5 \times P_c (h_c - e) = 20.79 \text{KN.M}$$

$$V_u = 1.35 \times P_t + 1.5 \times P_c = 22.62 \text{KN}$$

Sur la face avant, e étant l'épaisseur du voile, on dispose A_h et A_v , respectivement sections d'aciers horizontaux et verticaux (en cm²/ml) tel que $A_h > 0.08 \times e$

$$A_v > 0.075 \times e$$

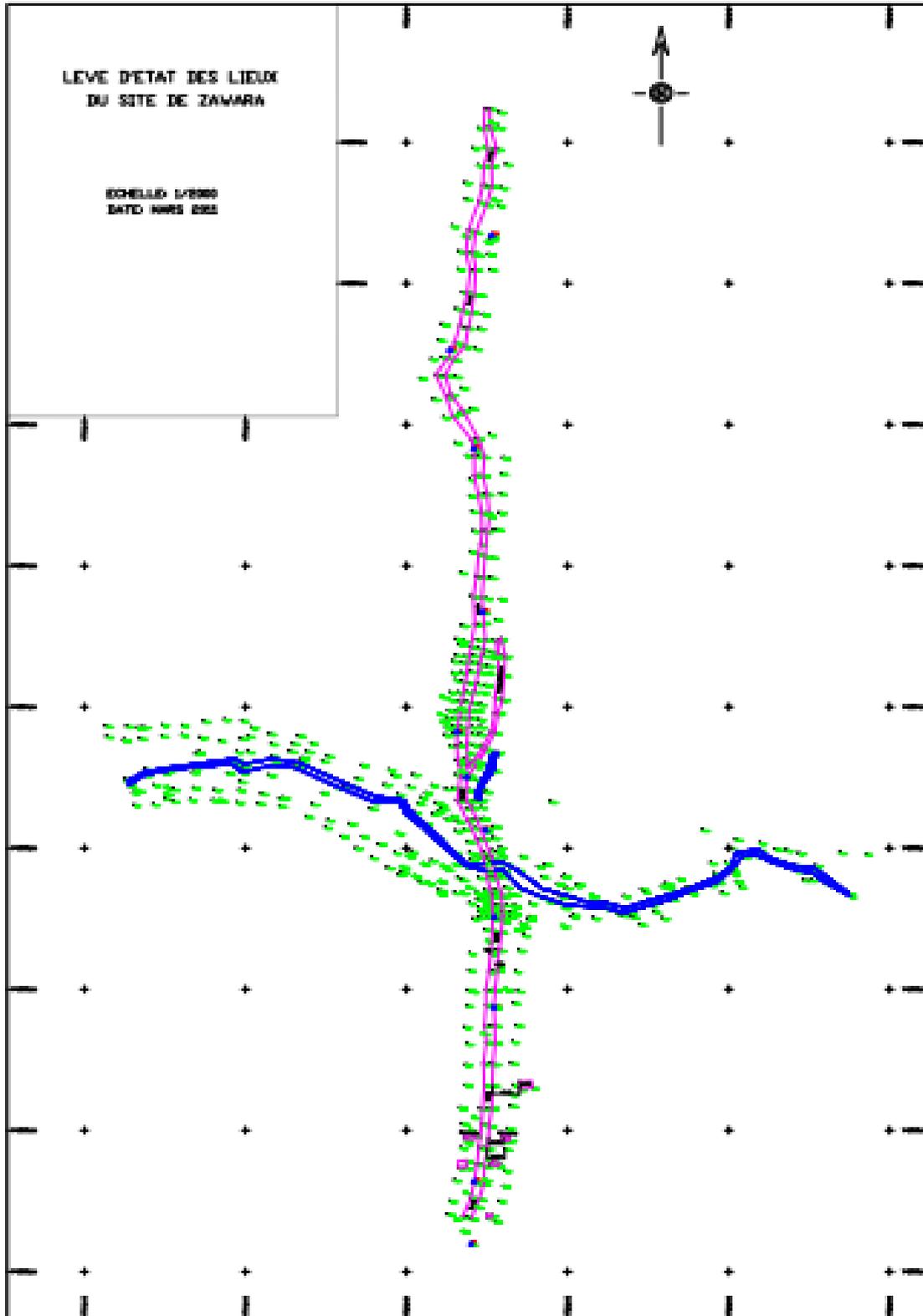
Sur la face arrière (côté terre), on dispose des aciers de répartition horizontalement de section : $A_h > 0.01 \times e$

En tête du voile un chaînage de section minimale = 4 cm

Aciers complémentaires			
Face avant	aciers horizontaux	Ah = 2	4HA8 esp 25cm
	aciers verticaux	Av = 2	4HA8 esp 25cm
Face arrière	aciers horizontaux	Ah = 2	4HA8 esp 25cm
Tête de voile			
Asmin		4	2HA16 esp = 30cm

Désignation	Formules	Résultats	Observations
d	$\text{Min}(e - 5 ; 0,9 \times e)$	0.20m	d est la hauteur utile
σ_{bc}	$0.85 \times f_{c28}/1.5$	17 MPa	σ_{bc} est la contrainte de compression du béton
σ_s	$f_e/1.15$	347.83 MPa	σ_s est la contrainte de traction de l'acier
$\bar{\sigma}_s$	$\min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e \\ 110 \sqrt{\eta \times f_{t28}} \end{array} \right.$	215,56 MPa	$\bar{\sigma}_s$ est la contrainte limite de l'acier $\eta = 1,6$
$\bar{\sigma}_{bc}$	$0,6 \times f_{c28}$	18 MPa	$\bar{\sigma}_{bc}$ est la contrainte limite du béton à 28 jours.
μ	$M_u / (b \times d^2 \times \sigma_{bc})$	0.032	μ est le moment limite
α	$1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu})$	0.04	
Z	$d \times (1 - 0.4 \times \alpha)$	0.191	Z est le bras de levier des aciers
At	$M_{ut} / (Z \times \sigma_s)$	3.12cm ²	At est la section d'acier qu'il faut dans le rideau
Ar	$\text{Max}(At / 4 ; 0.08 \times e)$	3.04 cm ²	Ar est la section de répartition
	$0.07 \times d \times f_{c28} / 1.5$	0.28MN	
$V_u < 0.07 \times d \times f_{c28} / 1.5$	Pas d'aciers transversaux		

ANNEXE 6 : RESULTATS DES TRACES ET PROFILS



Le 26/04/2012 à 12:32 --- PISTE 5.05 --- Licence n°39 89
 C:\Users\user\Desktop\alljb\SITEDE~1\AXEPLA~1.PIS
 ROUTE

AXE EN PLAN

Elém	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0.000	545079.600	1303276.640
D1	ANG = 93.953g	332.574			
			332.574	545111.143	1303607.715
L1	A = 113.344 Rf= 240.000 L = 53.528				
			386.102	545114.235	1303661.124
	XC= 544874.268 YC= 1303657.157 R = 240.000 L = 16.191				
			402.293	545113.422	1303677.291
	Rd= 240.000 A = 113.344 L = 53.528	123.248			
			455.822	545104.986	1303730.121
D2	ANG = 112.446g	136.365			
			592.186	545078.495	1303863.888
L2	A = 113.344 Rf= -240.000 L = 53.528				
			645.715	545070.060	1303916.717
	XC= 545309.214 YC= 1303936.851 R = -240.000 L = 14.815				
			660.529	545069.273	1303931.509
	Rd= -240.000 A = 113.344 L = 53.528	121.872			
			714.058	545072.058	1303984.935
D3	ANG = 94.318g	227.650			
			941.708	545092.350	1304211.679
L3	A = 113.344 Rf= 240.000 L = 53.528				
			995.236	545095.136	1304265.105
	XC= 544855.195 YC= 1304259.763 R = 240.000 L = 20.114				
			1015.351	545093.846	1304285.172
	Rd= 240.000 A = 113.344 L = 53.528	127.171			
			1068.879	545084.246	1304337.803
D4	ANG = 113.852g	71.544			
			1140.423	545068.802	1304407.660
L4	A = 113.344 Rf= -240.000				

Le 26/04/2012 à 12:32 --- PISTE 5.05 --- Licence n°39 89
 C:\Users\user\Desktop\alljb\SITEDE~1\AXEPLA~1.PIS
 ROUTE

AXE EN PLAN

Elém	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
	L = 53.528				
			1193.951	545059.202	1304460.290
	XC= 545297.853 YC= 1304485.700 R = -240.000 L = 67.770				
			1261.722	545061.573	1304527.794
	Rd= -240.000 A = 113.344 L = 53.528	174.827			
			1315.250	545074.843	1304579.621
D5	ANG = 81.677g	16.750			
			1332.000	545079.598	1304595.682
L5	A = 113.344 Rf= 240.000 L = 53.528				
			1385.529	545092.867	1304647.509
	XC= 544856.588 YC= 1304689.604 R = 240.000 L = 13.974				
			1399.503	545094.917	1304661.330
	Rd= 240.000 A = 113.344 L = 53.528	121.031			
			1453.031	545097.255	1304714.778
D6	ANG = 99.582g	131.765			
			1584.796	545098.120	1304846.540
LONGUEUR DE L'AXE 1584.796					

Le 26/04/2012 à 12:33 --- PISTE 5.05 --- Licence n°39 89
 C:\Users\user\Desktop\alljb\SITEDE~1\AXEPLA~1.PIS
 ROUTE

PROFIL EN LONG

Elém	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0.000	300.263
D1	PENTE= -0.729 %	207.563		
			207.563	298.750
PAR1	S= 223.6040 Z= 298.6913 R = 2200.00	4.874		
			212.437	298.720
D2	PENTE= -0.508 %	412.916		
			625.353	296.624
PAR2	S= 636.5201 Z= 296.5954 R = 2200.00	50.702		
			676.055	296.951
D3	PENTE= 1.797 %	326.782		
			1002.837	302.823
PAR3	S= 1083.7033 Z= 303.5496 R = -4500.00	34.326		
			1037.163	303.309
D4	PENTE= 1.034 %	547.633		
			1584.796	308.973
LONGUEUR DE L'AXE 1584.796				

Le 08/06/2012 à 22:50 --- PISTE 5.05 --- Licence n°39 89
 C:\Users\user\Desktop\alljb\SITEDE~1\AXEPLA~1.PIS
 ROUTE

TABULATION

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	COTE TN	COTE PROJET	X PROFIL	Y PROFIL	ANGLE PROFIL	DEV GAU	DEV DRO
1	0.000	300.113	300.263	545079.600	1303276.640	393.953g	3.00	-3.00
2	30.000	299.991	300.071	545082.445	1303306.505	393.953g	3.00	-3.00
3	60.000	299.869	299.879	545085.291	1303336.370	393.953g	3.00	-3.00
4	90.000	299.735	299.687	545088.136	1303366.234	393.953g	3.00	-3.00
5	120.000	299.318	299.495	545090.982	1303396.099	393.953g	3.00	-3.00
6	150.000	299.065	299.303	545093.827	1303425.964	393.953g	3.00	-3.00
7	180.000	298.786	299.111	545096.672	1303455.829	393.953g	3.00	-3.00
8	210.000	298.582	298.920	545099.518	1303485.693	393.953g	3.00	-3.00
9	240.000	298.388	298.728	545102.363	1303515.558	393.953g	3.00	-3.00
10	270.000	298.191	298.536	545105.208	1303545.423	393.953g	3.00	-3.00
11	299.500	298.214	298.347	545108.006	1303574.790	393.953g	3.00	-3.00
12	300.000	298.221	298.344	545108.054	1303575.288	393.953g	3.00	-3.00
13	304.190	298.263	298.317	545108.451	1303579.459	393.953g	3.00	-3.00
14	308.120	298.305	298.292	545108.824	1303583.371	393.953g	3.00	-3.00
15	330.000	298.530	298.152	545110.899	1303605.152	393.953g	3.00	-3.00
16	332.574	298.554	298.135	545111.143	1303607.715	393.953g	3.00	-3.00
17	360.000	298.816	297.960	545113.478	1303635.040	395.817g	3.00	-3.00
18	386.102	298.504	297.829	545114.235	1303661.124	1.052g	3.00	-3.00
19	390.000	298.431	297.810	545114.139	1303665.021	2.086g	3.00	-3.00
20	402.293	298.179	297.748	545113.422	1303677.291	5.347g	3.00	-3.00
21	420.000	297.952	297.660	545111.358	1303694.875	9.267g	3.00	-3.00
22	450.000	296.037	297.510	545106.115	1303724.410	12.362g	3.00	-3.00
23	455.822	295.669	297.481	545104.986	1303730.121	12.446g	3.00	-3.00
24	480.000	294.655	297.360	545100.289	1303753.839	12.446g	3.00	-3.00
25	500.000	294.066	297.260	545096.404	1303773.458	12.446g	3.00	-3.00
26	510.000	294.194	297.210	545094.461	1303783.267	12.446g	3.00	-3.00
27	540.000	294.607	297.060	545088.633	1303812.696	12.446g	3.00	-3.00
28	570.000	294.886	296.910	545082.805	1303842.124	12.446g	3.00	-3.00
29	592.186	295.593	296.799	545078.495	1303863.888	12.446g	3.00	-3.00
30	600.000	295.967	296.760	545076.983	1303871.554	12.295g	3.00	-3.00
31	630.000	296.863	296.610	545071.840	1303901.106	8.904g	3.00	-3.00
32	645.715	296.179	296.583	545070.060	1303916.717	5.347g	3.00	-3.00
33	660.000	296.512	296.656	545069.285	1303930.980	1.558g	3.00	-3.00
34	660.529	296.514	296.660	545069.273	1303931.509	1.417g	3.00	-3.00
35	690.000	297.623	297.109	545070.094	1303960.958	395.752g	3.00	-3.00
36	714.058	298.234	297.614	545072.058	1303984.935	394.318g	3.00	-3.00
37	720.000	298.256	297.739	545072.588	1303990.854	394.318g	3.00	-3.00
38	750.000	298.366	298.369	545075.262	1304020.734	394.318g	3.00	-3.00
39	780.000	298.963	299.000	545077.936	1304050.615	394.318g	3.00	-3.00
40	810.000	299.426	299.630	545080.610	1304080.495	394.318g	3.00	-3.00
41	840.000	300.335	300.260	545083.285	1304110.376	394.318g	3.00	-3.00
42	870.000	300.916	300.891	545085.959	1304140.257	394.318g	3.00	-3.00
43	900.000	301.373	301.521	545088.633	1304170.137	394.318g	3.00	-3.00
44	930.000	301.781	302.151	545091.307	1304200.018	394.318g	3.00	-3.00
45	941.708	301.885	302.396	545092.350	1304211.679	394.318g	3.00	-3.00
46	960.000	302.631	302.733	545093.902	1304229.905	395.147g	3.00	-3.00
47	990.000	302.298	303.132	545095.197	1304259.869	0.096g	3.00	-3.00
48	995.236	302.356	303.193	545095.136	1304265.105	1.417g	3.00	-3.00
49	1015.351	302.928	303.428	545093.846	1304285.172	6.753g	3.00	-3.00
50	1020.000	302.981	303.483	545093.311	1304289.791	7.932g	3.00	-3.00
51	1050.000	303.384	303.833	545088.237	1304319.350	12.969g	3.00	-3.00
52	1068.879	303.687	304.054	545084.246	1304337.803	13.852g	3.00	-3.00
53	1080.000	303.834	304.184	545081.846	1304348.662	13.852g	3.00	-3.00
54	1110.000	304.251	304.534	545075.369	1304377.954	13.852g	3.00	-3.00

Le 08/06/2012 à 22:50 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 39 89
 C:\Users\user\Desktop\alljb\SITEDE~1\AXEPLA~1.PIS
 ROUTE

TABULATION

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	COTE TN	COTE PROJET	X PROFIL	Y PROFIL	ANGLE PROFIL	DEV GAU	DEV DRO
55	1140.000	304.665	304.885	545068.893	1304407.247	13.852g	3.00	-3.00
56	1140.423	304.671	304.890	545068.802	1304407.660	13.852g	3.00	-3.00
57	1170.000	305.059	305.236	545062.745	1304436.609	11.685g	3.00	-3.00
58	1193.951	305.362	305.516	545059.202	1304460.290	6.753g	3.00	-3.00
59	1200.000	305.453	305.586	545058.637	1304466.312	5.148g	3.00	-3.00
60	1230.000	305.908	305.937	545058.087	1304496.288	397.191g	3.00	-3.00
61	1260.000	306.138	306.281	545061.277	1304526.098	389.233g	3.00	-3.00
62	1261.722	306.149	306.298	545061.573	1304527.794	388.776g	3.00	-3.00
63	1290.000	306.367	306.536	545067.876	1304555.352	383.256g	3.00	-3.00
64	1315.250	306.559	306.744	545074.843	1304579.621	381.677g	3.00	-3.00
65	1320.000	306.592	306.784	545076.191	1304584.176	381.677g	3.00	-3.00
66	1332.000	306.688	306.883	545079.598	1304595.682	381.677g	3.00	-3.00
67	1350.000	306.822	307.032	545084.635	1304612.963	382.479g	3.00	-3.00
68	1380.000	307.052	307.280	545091.837	1304642.077	387.385g	3.00	-3.00
69	1385.529	307.141	307.325	545092.867	1304647.509	388.776g	3.00	-3.00
70	1399.503	307.262	307.441	545094.917	1304661.330	392.483g	3.00	-3.00
71	1410.000	307.352	307.528	545095.940	1304671.777	394.994g	3.00	-3.00
72	1440.000	307.551	307.776	545097.141	1304701.747	399.162g	3.00	-3.00
73	1453.031	307.636	307.883	545097.255	1304714.778	399.582g	3.00	-3.00
74	1470.000	307.774	308.024	545097.367	1304731.746	399.582g	3.00	-3.00
75	1500.000	308.120	308.272	545097.564	1304761.746	399.582g	3.00	-3.00
76	1530.000	308.466	308.520	545097.760	1304791.745	399.582g	3.00	-3.00
77	1560.000	308.701	308.768	545097.957	1304821.744	399.582g	3.00	-3.00
78	1584.796	308.823	308.973	545098.120	1304846.540	399.582g	3.00	-3.00

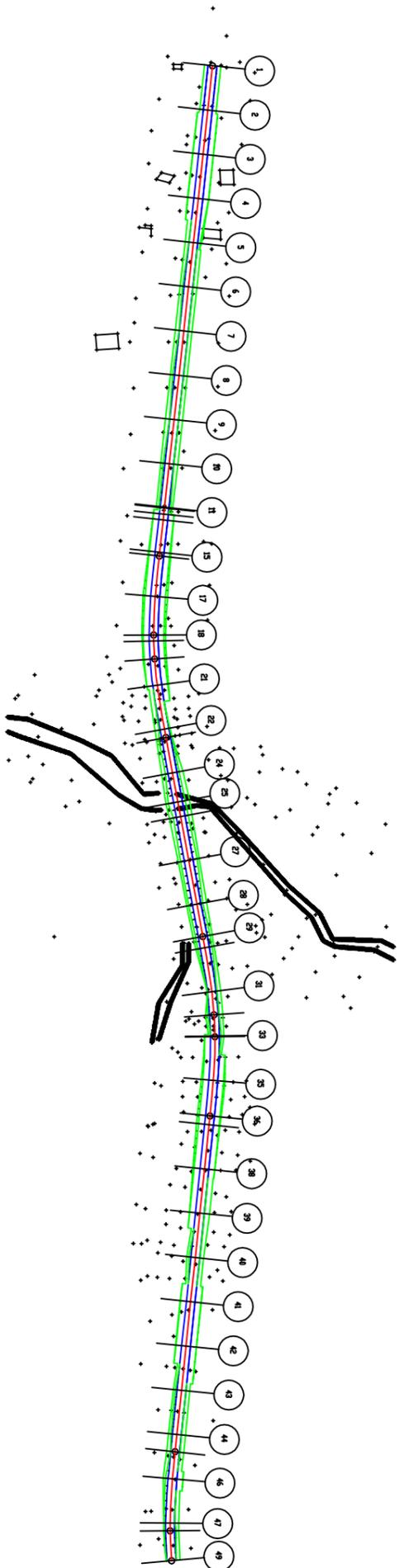


PLANCHE 1/ 2
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

COTES TERRAIN	DISTANCES PARTIELLES	DISTANCES CUMULEES	COTES PROJET
300.11	0.00	0.00	300.26
299.99	30.00	30.00	300.07
299.87	60.00	60.00	299.88
299.73	90.00	90.00	299.69
299.52	120.00	120.00	299.50
299.07	150.00	150.00	299.30
298.79	180.00	180.00	299.11
298.58	210.00	210.00	298.92
298.39	240.00	240.00	298.73
298.19	270.00	270.00	298.54
298.21	299.50	299.50	298.35
298.30	308.12	308.12	298.29
298.53	320.00	320.00	298.15
298.55	332.57	332.57	298.14
298.82	360.00	360.00	297.96
298.80	361.50	361.50	297.95
298.50	386.10	386.10	297.83
298.43	390.00	390.00	297.81
298.18	402.29	402.29	297.75
297.95	420.00	420.00	297.66
296.04	450.00	450.00	297.51
295.67	455.82	455.82	297.48
294.66	480.00	480.00	297.26
294.07	500.00	500.00	297.26
294.19	510.00	510.00	297.21
294.61	540.00	540.00	297.06
294.89	570.00	570.00	296.91
295.59	592.19	592.19	296.80
295.97	600.00	600.00	296.76
296.86	630.00	630.00	296.61
296.83	630.68	630.68	296.61
296.18	645.71	645.71	296.58
296.51	660.00	660.00	296.64
296.52	660.99	660.99	296.64
297.62	690.00	690.00	297.11
298.23	714.06	714.06	297.61
298.26	720.00	720.00	297.74
298.37	750.00	750.00	298.37
298.96	780.00	780.00	299.00
299.43	810.00	810.00	299.63
300.34	840.00	840.00	300.26
300.92	870.00	870.00	300.89
301.37	900.00	900.00	301.52
301.78	930.00	930.00	302.15
301.89	941.71	941.71	302.40
302.63	960.00	960.00	302.73
302.40	980.98	980.98	303.03
302.30	990.00	990.00	303.13
302.96	995.24	995.24	303.19
302.93	1015.35	1015.35	303.43

DECLIVITES PROJET
 ALIGNEMENTS ET COURBES

LICENCE : 3899



ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES
 ENVIRONNEMENTALES D'UN
 OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT
 ET DE SES VOIES D'ACCÈS SUR LE
 BOLO à zawara, ROUTE
 DÉPARTEMENTALE 124

DOSSIER
 D'EXECUTION
 TRACE EN PLAN
 ET PROFIL EN LONG
 ROUTE
 DÉPARTEMENTALE 124

Echelle : PLAN N° : 1/2
 H : 2000
 V : 200

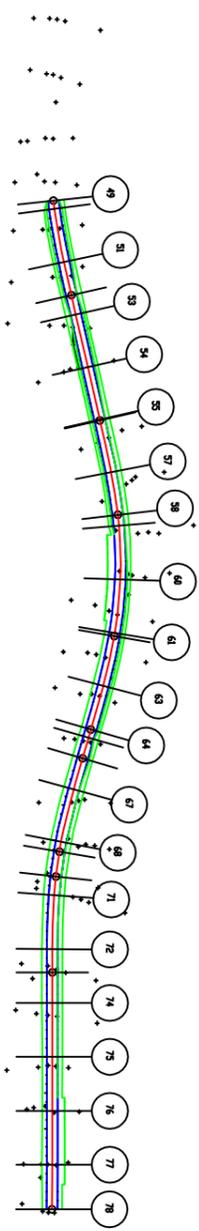


PLANCHE 2 / 2
 ECHELLE EN S 1/ 2000
 ECHELLE EN Z 1/ 200
 PLAN DE COMPARAISON

AXEPLA 1.PIS

DECLIVITES PROJET	DECLIVITES TERRAIN	DISTANCES PARTIELLES	DISTANCES CUMULEES	COTES PROJET	COTES TERRAIN
		303.43	1015.95	302.93	49
		303.48	1020.00	302.98	50
		303.83	1050.00	303.38	51
		304.05	1068.88	303.69	52
		304.18	1080.00	303.83	53
		304.53	1110.00	304.25	54
		304.69	1140.00	304.66	55
		304.83	1140.42	304.83	56
		305.24	1170.00	305.06	57
		305.34	1230.00	305.91	60
		306.20	1252.31	306.08	61
		306.28	1260.00	306.14	62
		306.30	1291.72	306.15	62
		306.54	1290.00	306.37	63
		306.74	1315.25	306.56	64
		306.78	1320.00	306.59	65
		306.88	1332.00	306.69	66
		307.03	1350.00	306.82	67
		307.28	1380.00	307.05	68
		307.33	1385.53	307.14	69
		307.44	1399.50	307.26	70
		307.53	1410.00	307.35	71
		307.78	1440.00	307.55	72
		307.88	1453.03	307.64	73
		308.02	1470.00	307.77	74
		308.27	1500.00	308.12	75
		308.52	1530.00	308.47	76
		308.77	1560.00	308.70	77
		308.97	1584.88	308.82	78

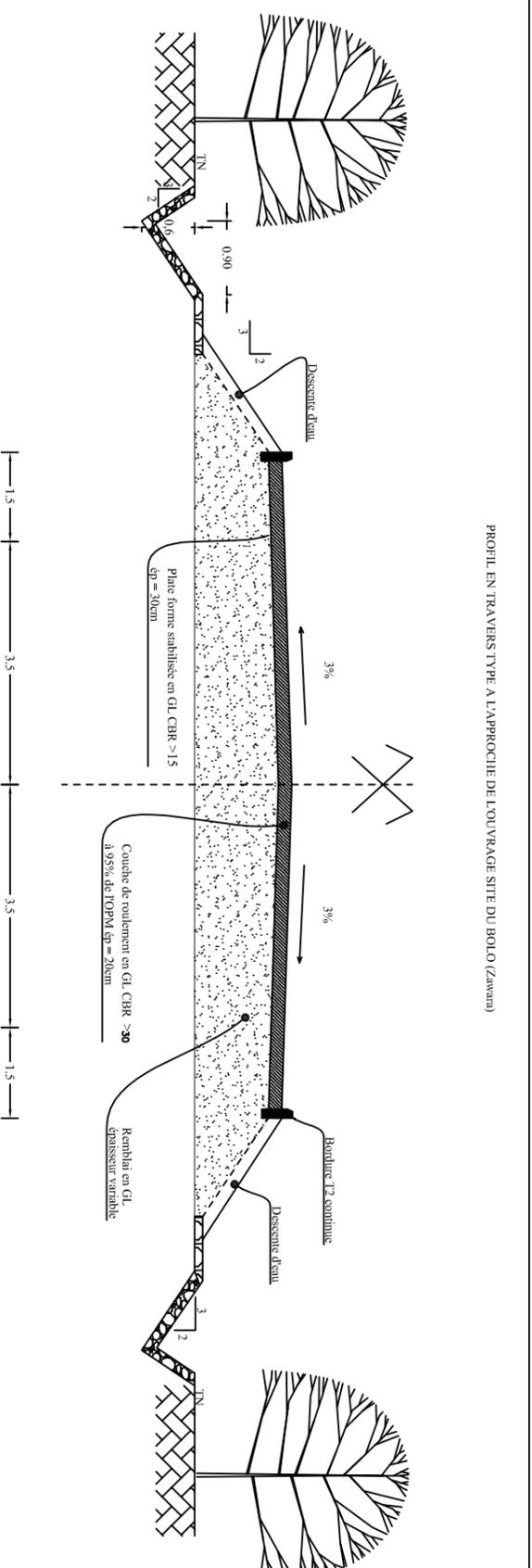
LICENCE : 9899



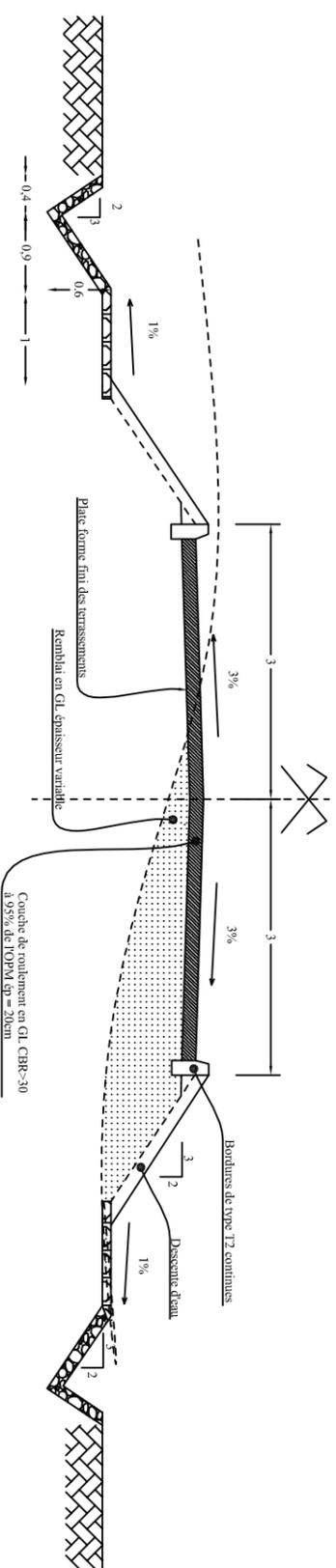
ÉTUDES TECHNIQUES DÉTAILLÉES
 ENVIRONNEMENTALES D'UN
 OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT
 ET DE SES VOIES D'ACCÈS SUR LE
 BOLO à zawara, ROUTE
 DÉPARTEMENTALE 124

DOSSIER
 D'EXECUTION
 TRACE EN PLAN
 ET PROFIL EN LONG
 ROUTE
 DÉPARTEMENTALE 124

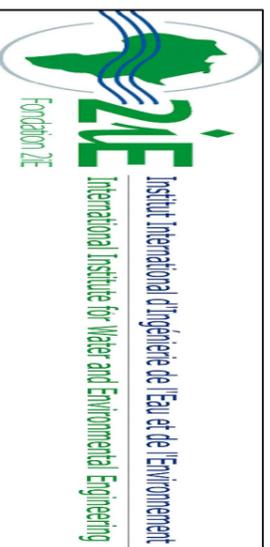
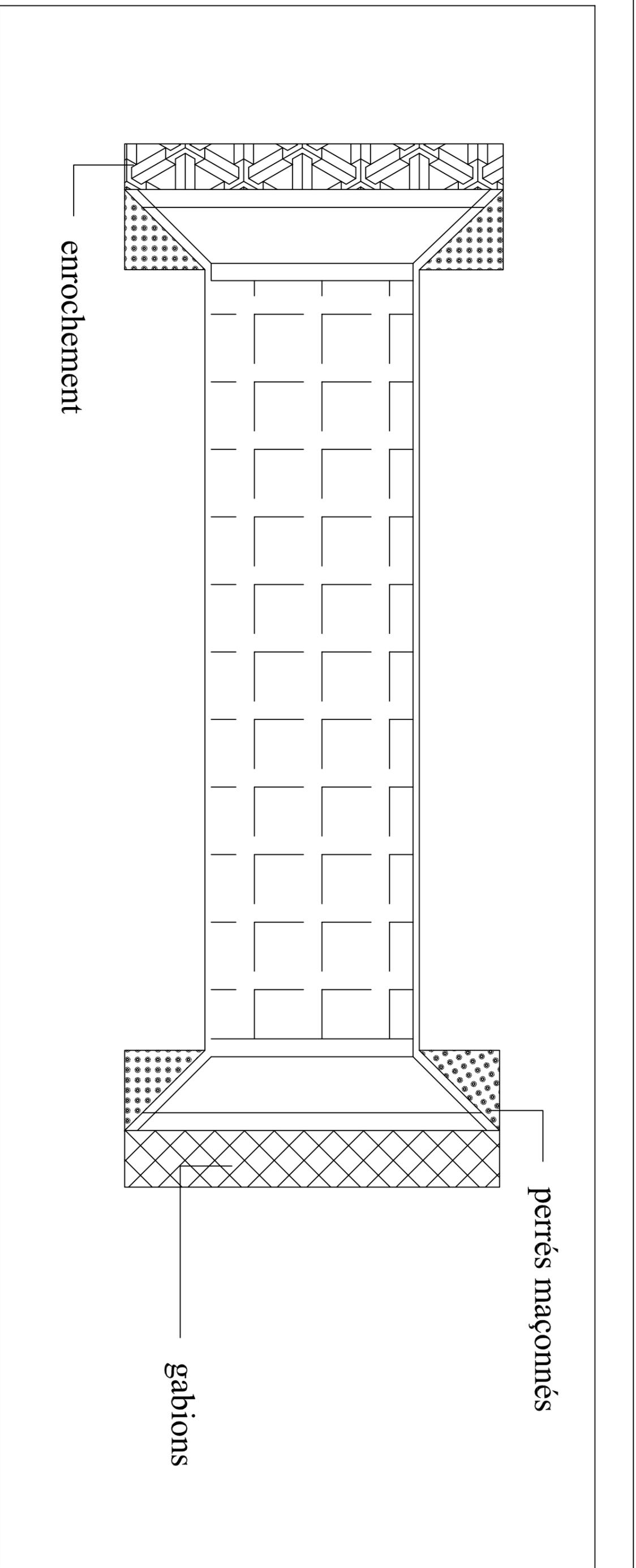
Echelle : PLAN N° : 2/2
 H : 2000
 V : 200



PROFIL EN TRAVERS COURANT SITE DU BOLO (Zawara)



ANNEXE 7 : PLANS D'EXECUTION DE L'OUVRAGE

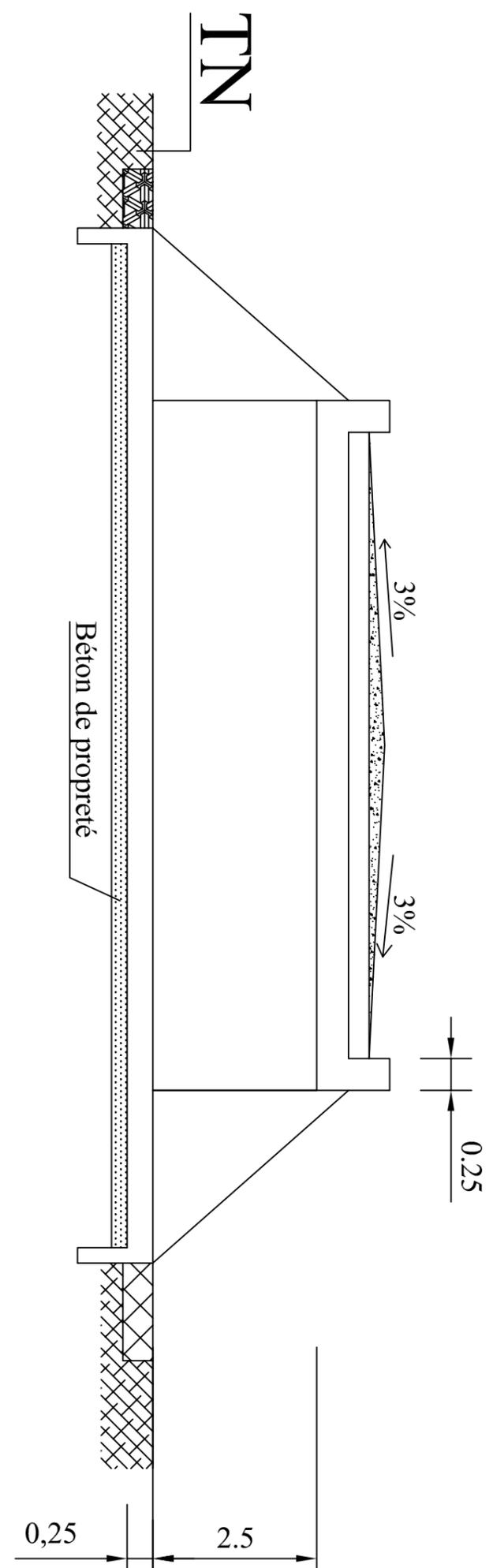


ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES
 ENVIRONNEMENTALES D'UN
 OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT
 ET DE SES VOIES D'ACCES SUR LE
 BOLO à zawara, ROUTE
 DEPARTEMENTALE 124

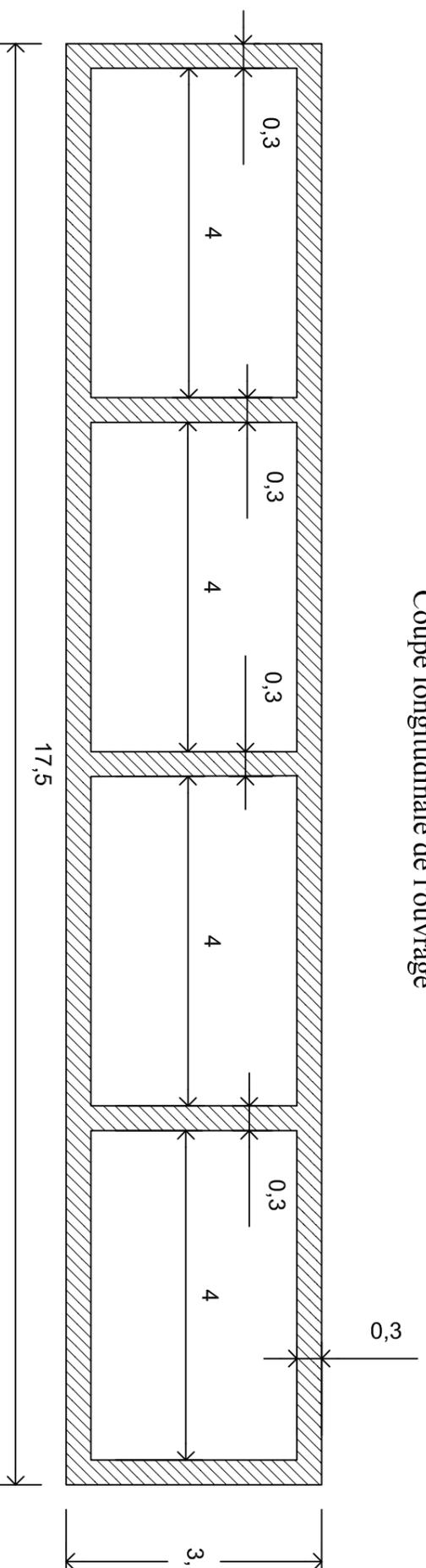
VUE EN PLAN

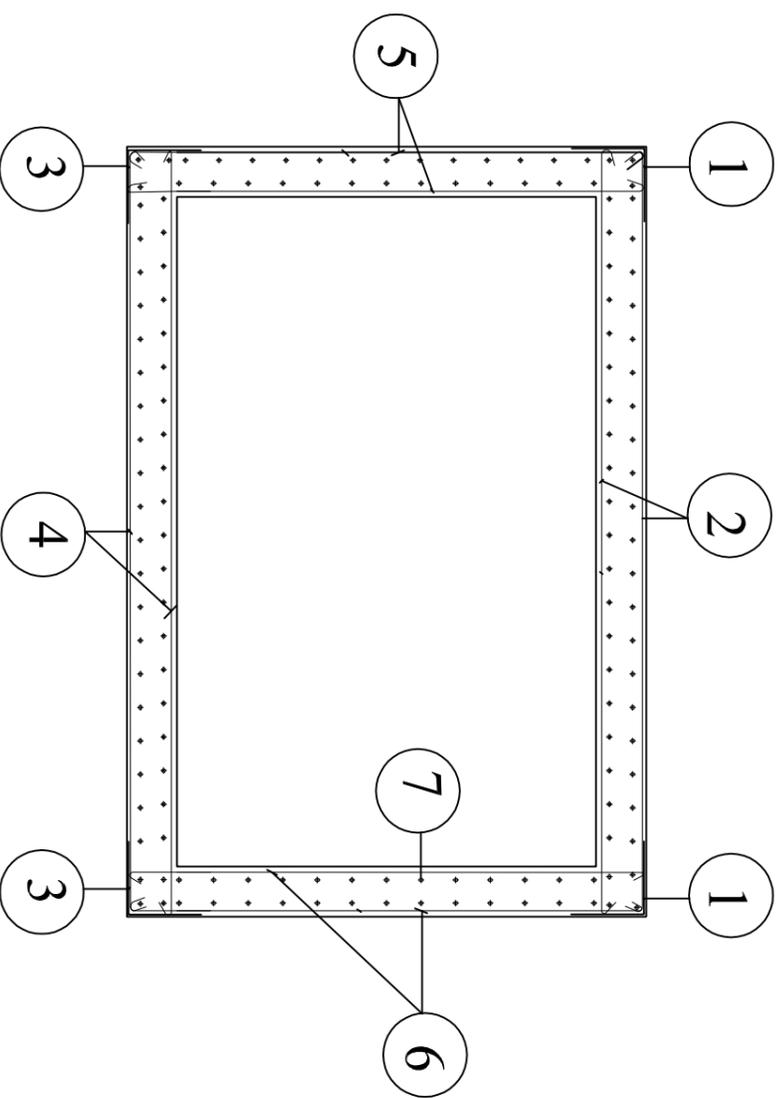
Date
05/05/2012

Coupe transversale de l'ouvrage



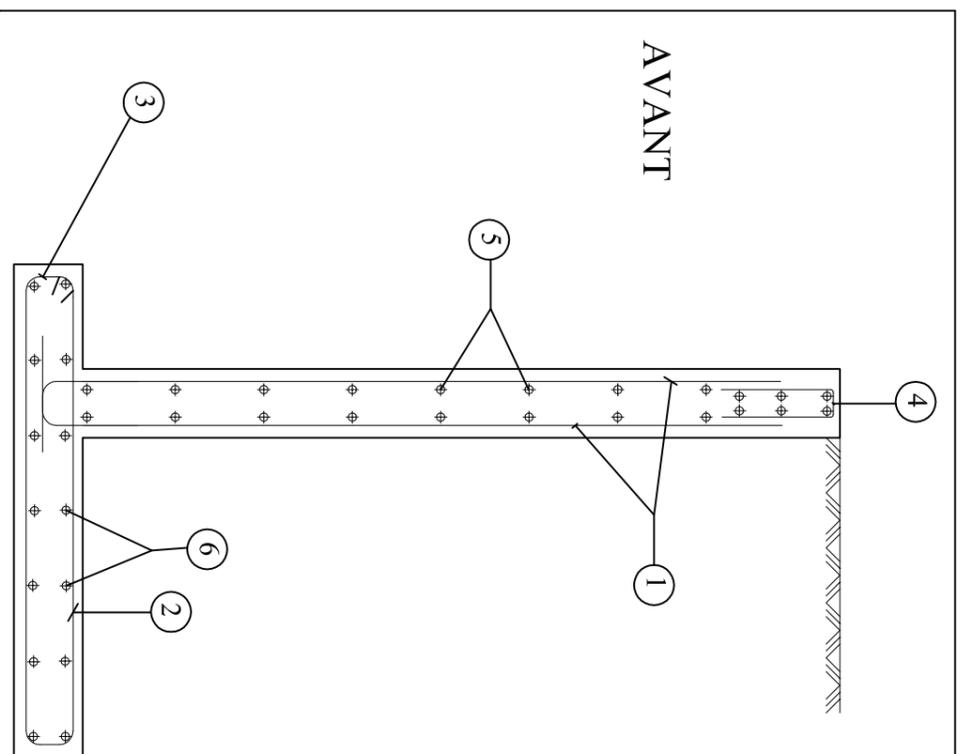
Coupe longitudinale de l'ouvrage



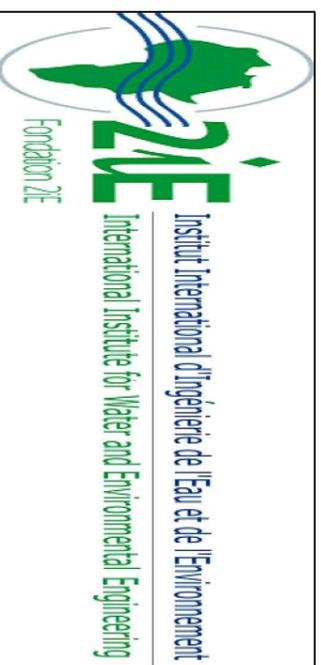


N°	Ø(mm)	Nombre de Pièces	Espacement(cm)	Forme L(cm)	Long totale (m)	Poids kg/m	Poids kg
1	16	960	7	80	768	1.58	1214
	16	640	7	4L4	103	1.58	162
2	14	1920	8	16L400	8295	1.21	10037
	16	1020	7	80	816	1.58	1290
3	16	680	7	4L4	109	1.58	172
	14	2240	8	16L400	9677	1.21	11709
5	12	240	16	13L310	807	0.88	710
6	12	800	20	13L310	2688	0.88	2366
7	8	736	10	1000	7360	0.40	2944
	8	348	20	1000	3480	0.40	1392

Poids total 31996



N°	Ø (mm)	Nombre de pièces	Epaisseur (cm)	Forme L (cm)	Long totale (m)	Poids kg/m	Poids kg	
1	10	24 (6 x 4)	25	20 300	77	0.62	47.74	
2	14	42 (6 x 7)	14.3	28 178 56	110	1.21	133.1	
3	16	6 (6 x 1)	25	32 178 64	17	1.58	26.86	
4	16	2	12.5	50 20 50	2.4	1.58	3.80	
5	8	12 (3 x 4)	12.5	600	72	0.40	28.8	
6	8	11 (1.78x4)	12.5	600	66	0.40	26.40	
Poids total								266.7

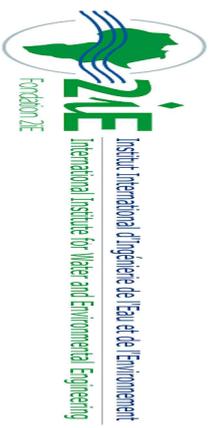
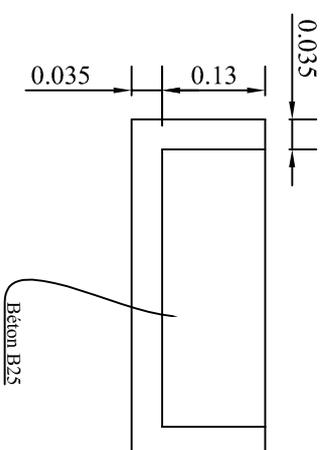
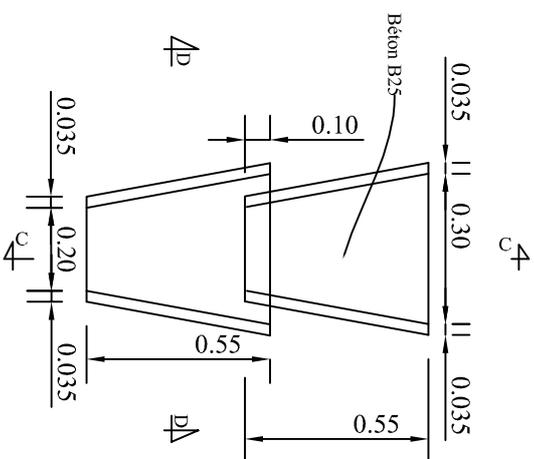
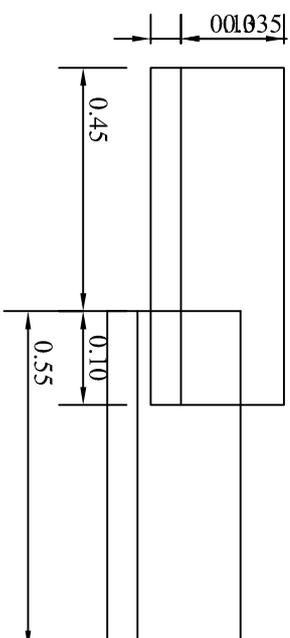
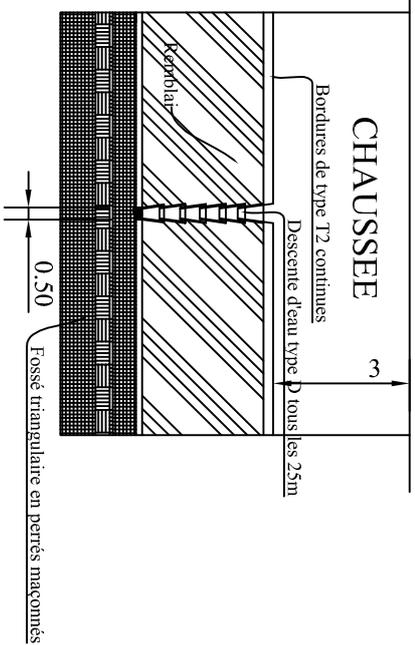


ETUDES TECHNIQUES
 DETAILLEES
 ENVIRONNEMENTALES D'UN
 OUVRAGE DE
 FRANCHISSEMENT ET DE
 SES VOIES D'ACCES SUR LE
 BOLO à zawara, ROUTE
 DEPARTEMENTALE 124

PLAN DE
 FERRAILLAGE
 DU MUR
 EN AILE

Date
 05/05/2012

ANNEXE 8 : ASSAINISSEMENT



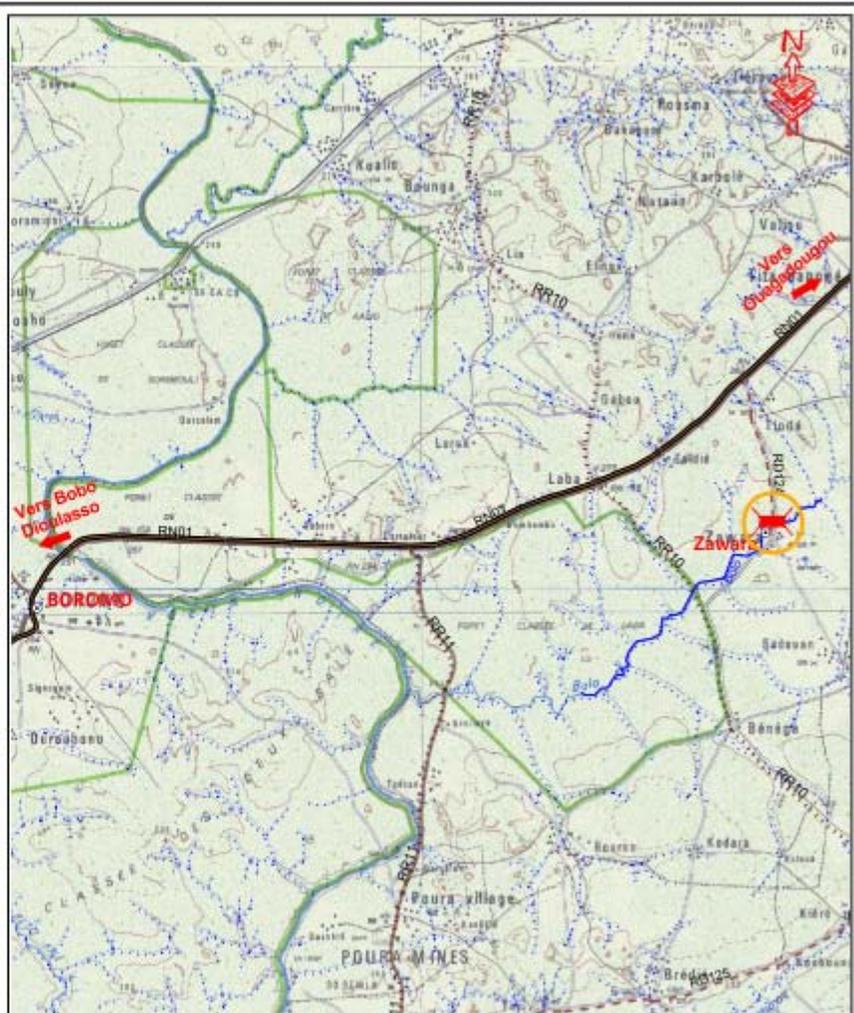
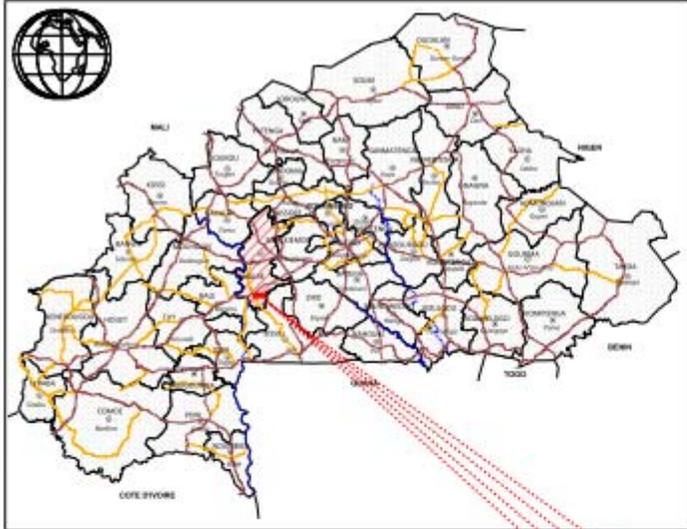
ETUDES TECHNIQUES
 DÉTAILLÉES
 ENVIRONNEMENTALES
 D'UN OUVRAGE DE
 FRANCHISSEMENT ET DE
 SES VOIES D'ACCÈS SUR LE
 BOLO à ZAVARA, ROUTE
 DÉPARTEMENTALE 124

ASSAINISSEMENT
 DESCENTE D'EAU

Date

05/05/2012

ANNEXE 9 : CARTE DE LOCALISATION



LEGENDE

- Villages
- ⊙ Localités
- Route nationale
- Route régionale
- - - - - Route départementale
- Cours d'eau
- ⊙ Site du Projet

