

**ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES ET
ENVIRONNEMENTALE D'UN OUVRAGE DE
FRANCHISSEMENT SUR LE OUARE ET DE SES
VOIES D'ACCES : ROUTE DEPARTEMENTALE
(RD35 : SANGHA- YARGATENGA) DANS LA
REGION DU CENTRE-EST**

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

OPTION : Génie – Civil

Présenté et soutenu publiquement le juin 2012 par

Yifourzoua Sébastien BAYALA

Travaux dirigés par :

- Dr. Ismail GUEYE : Enseignant-Chercheur
- M. Gilles GUIGMA : Ingénieur Génie-Civil, chef de projet (à AGEIM)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Prénom NOM

Membres et correcteurs : Prénom NOM

Prénom NOM

Prénom NOM

Promotion 2011-2012

DEDICACE

Je dédie ce présent travail à :

- Mes chers parents feu Aloys BAYALA et feu Suzanne KANZIE
- A Mme et Mr ZEIDEH pour la prise en charge de mes études
- A mes frères et sœurs qui m'ont soutenu tout au long de mes études

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier, toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail. Je remercie tout particulièrement :

- Mon Directeur de mémoire, Dr. Ismaila GUEYE, responsable UTER-ISM pour son aide et ses conseils multiples,
- M. le Directeur Général de AGEIM-IC : M. Tiraogo H. OUEDRAOGO pour m'avoir accepté comme stagiaire au sein de sa structure,
- Mon maitre de stage M. Gilles GUIGMA, pour m'avoir guidé tout au long de ce stage,
- M. Bobou KO pour son aide et son soutien,
- M. Kakovi ADIBOLO pour ses conseils,
- Tout le personnel d'AGEIM-IC.

RESUME

Dans le cadre de la stratégie de développement de son secteur des transports, le gouvernement du Burkina Faso a prévu des travaux de construction d'un ouvrage de franchissement et de ses voies d'accès, au sein desquels s'inscrit le projet faisant objet de notre présente étude. Ce projet s'intitule « **étude technique détaillée et environnementale d'un ouvrage de franchissement sur le OUARE et de ses voies d'accès : route départementale (la RD35 : SANGHA-YARGATENGA)** » et comporte deux grands chapitres à savoir : aménagement de la route départementale RD35 de 1,5 Km de long pour 30 m d'emprise, ainsi que le dimensionnement de l'ouvrage de franchissement.

Ce projet vise entre autres à assurer une bonne structuration du réseau national et à désenclaver les régions qui ont des potentialités importantes afin de lutter contre la pauvreté.

Les études techniques à partir du fond topographique avec le logiciel Piste5 ont permis, en fonction de la vitesse de référence choisie (60km/h) pour notre étude, de faire la conception géométrique de la chaussée. La conception structurale de la route ainsi aménagée comporte une couche de roulement de 15cm et une couche de forme de 30cm en graveleux latéritique.

Le débit de projet de 82 m³/s retenu suite à l'étude hydrologique a permis d'obtenir un dalot à plusieurs ouvertures de dimensions 8 x 4 x 2.

Le coût global du projet s'évalue à **142 840 357,00 francs CFA (TTC)**.

Mots clefs : 1. APD

2. Route

3. Chaussée

4. Dalot cadre

5. OUARE

ABSTRACT

Within the framework of the strategy of development of its transport sector, the government of Burkina Faso envisaged building work of a crossing and its access roads, in which the project being is registered subject of our present study case. This project is entitled "**detailed and environmental technical study of crossing on OUARE and its access roads: secondary road (RD35: SANGHA- YARGATENGA)**" and comprises two great chapters with knowing: installation of secondary road RD35 of 1.5 km of length and dimensioning of the work of crossing.

This project aims amongst other things to ensure a good structuring of the national network and open up the areas which have significant potentialities in order to fight against poverty.

The technical studies starting from the topographic bottom with the Piste5 software allowed, according to the speed of selected reference (60km/h) for our study, to make the geometrical design of the roadway. The structural design of the road thus arranged comprises a wearing course of 15cm and a subgrade of 30cm into gravelly lateritic.

The flow of project of 82m³/s retained following the hydrological study made it possible to obtain a channel with several openings of dimensions 8 X 4 X 2.

The total cost of the project is evaluated with **142 840 357,00 francs CFA**.

Keywords: 1. Case study

2. Road
3. Roadway
4. Scupper
5. OUARE

LISTE DES ABREVIATIONS

AGEIM : Agence d'étude d'Ingénierie et de maîtrise d'œuvre

BAEL : Béton Armé aux Etats limites

CBR: Californian Bearing Ratio (Indice de Portance Californien)

CEBTP: Centre Expérimental de recherché et d'étude du Bâtiment et des Travaux Publics

ELU : Etat Limite Ultime

ELS : Etat Limite de Service

NE : Nombre d'essieux Equivalent

RD : Route Départementale

SETRA : Service d'étude sur les Transports, les routes et leurs aménagements

TN : Terrain Naturel

TRRL : Transportation Road Research Laboratory

TTC : Toute taxe comprise

UVP : unité de véhicule particulière

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION	6
II.	PRESENTATION GENERALE DU PROJET	7
II.1	Contexte général du projet.....	7
II.2	Objectif de l'Etude.....	7
II.2.1.	Objectif général	7
II.2.2.	Objectifs spécifiques	7
II.3	Présentation de la zone de projet	8
III.	DONNEES PHYSIQUES DE LA ZONE DU PROJET	10
III.1	Climat	10
III.2	Pluviométrie.....	10
III.3	Sols et Végétation.....	10
III.4	Hydrographie	11
IV.	ETUDE GEOMETRIQUE DE LA ROUTE	12
IV.1	Tracé en plan	12
IV.2	Profil en long	13
IV.3	Profil en travers	13
V.	ETUDE GEOTECHNIQUE.....	14
VI.	DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE LA CHAUSSEE	15
VI.1	Etude du trafic	16
VI.1.1.	Donnée du trafic	16
VI.1.2.	Calcul du trafic	17
VI.2	Détermination des épaisseurs des différentes couches	19
VII.	ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....	23
VII.1	Etude Hydrologique.....	23
VII.1.1.	Méthode ORSTOM	23

VII.1.2. Méthode CIEH	24
VII.1.3. Méthode RATIONNELLE	24
VII.2 Etude Hydraulique	25
VII.2.1. Choix des variantes	25
VII.2.2. Analyse comparative des deux variantes.....	26
VII.2.3. Dimensionnement hydraulique	28
VII.2.4. Pré-dimensionnement du dalot.....	31
VIII. DIMENSIONNEMENT DE LA VARIANTE CHOISIE	33
VIII.1 Principe de calcul des sollicitations	33
VIII.2 Schéma de calcul équivalent.....	34
IX. DIMENSIONNEMENT DU BETON ARME	36
IX.1 Hypothèse de base	36
IX.1.1. Règlements et instructions	36
IX.1.2. Caractéristiques des matériaux.....	36
IX.2 Calcul des armatures du tablier	36
IX.3 Calcul des armatures des piédroits	39
IX.4 Dimensionnement du mur en aile	42
IX.4.1. Pré-dimensionnement.....	42
IX.4.2. Inventaire des actions agissant sur le mur en aile:	44
IX.4.3. Vérification du prédimensionnement	45
IX.4.4. Calculs du béton armé	46
IX.4.5. Calcul des armatures de répartition.....	47
X. SIGNALISATION ROUTIÈRE-SÉCURITÉ	48
X.1 Signalisation routière	48
X.2 Sécurité routière.....	49
XI. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL	50
XI.1 Les impacts socio-économiques	50

XI.2	Les impacts positifs et négatifs en phase de réalisation et en phase d'exploitation du projet	50
XII.	DEVIS ESTIMATIF DU PROJET	53
XIII.	CONCLUSION	54
	BIBLIOGRAPHIE	55
	ANNEXES	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Typologie des véhicules considérés pendant le comptage.....	16
Tableau II : volume de trafic à l'horizon 2013 en veh/jour.....	16
Tableau III: Formules d'expression du trafic (source CEBTP 1984)	18
Tableau IV: Différentes classes de sols (source CEBTP 1984).....	18
Tableau V: Synthèse des crues de projet retenues	25
Tableau VI : Analyse multicritère des variantes	26
Tableau VII: Résultats récapitulatif du dimensionnement hydraulique.....	30
Tableau VIII : Récapitulatifs du pré-dimensionnement du dalot.....	32
Tableau IX : Récapitulatif du calcul des armatures	35
Tableau X: récapitulatif des sections d'armatures	38
Tableau XI: Récapitulatif des sections d'armatures.....	40
Tableau XII: récapitulatif des sections d'armature de répartition.....	41
Tableau XIII: récapitulatif du pré-dimensionnement du mur en aile.....	43
Tableau XIV: Récapitulatif des résultats du calcul des efforts du mur en aile	44
Tableau XV: Récapitulatif des Section d'armatures principales	47
Tableau XVI: Récapitulatif des Section d'armatures de répartition	47
Tableau XVII: Récapitulatif du coût du projet.....	53

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de situation de la province du KOULPELOGO.....	8
Figure 2 : Carte de situation du site du projet	9
Figure 3 : Abaque déterminant l'épaisseur de la chaussée.....	20
Figure 4 : Schéma du dalot cadre de 4x4x2	33
Figure 5 : Schéma de calcul équivalent.....	34
Figure 6 : Schéma du mur en aile.....	42
Figure 7 : Caractéristiques moyennes des terrains	43

I. INTRODUCTION

La route est un facteur incontournable pour le développement économique, culturel et social d'un pays. Elle favorise le transport des biens et des personnes en direction des différentes localités. Par ailleurs, elle assure la sécurité et le confort des usagers. Notre devoir en tant qu'ingénieur est de concevoir une route qui va assurer une viabilité permanente (bon état de la route), permettre la circulation en toute saison, offrir aux usagers une circulation confortable et en toute sécurité, et tout ceci en respectant strictement les normes en vigueur. L'eau constitue une des causes premières des problèmes de dégradations des voies. Ces dégradations sont majeures lors du franchissement par la route des cours d'eau et l'écoulement des eaux de pluies. Pour y remédier, la solution la plus adaptée est la mise en place d'un ouvrage de franchissement.

Dans les lignes qui suivront, nous présenterons les résultats de cette étude technique en accord avec la méthodologie suivante : à partir des données topographiques et des détails fournis, nous ferons la synthèse des données de projet, ainsi que la présenterons du contexte d'étude. Par la suite, nous aborderons le dimensionnement des composantes principales du présent projet, ainsi que la signalétique, les aspects de sécurité à observer et les ouvrages d'assainissement.

II. PRESENTATION GENERALE DU PROJET

II.1 Contexte général du projet

Le projet soumis à notre étude comporte deux grands points à savoir : aménagement de la route départementale RD35 dans la région du centre-est plus précisément dans la commune de Yargatenga, ainsi que le dimensionnement de l'ouvrage de franchissement.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de la mise en œuvre des stratégies de développement d'infrastructures routières, de réduction de la pauvreté et de développement du Burkina Faso ; il est d'une grande importance car il permettra de désenclaver la région du centre-est.

II.2 Objectif de l'Etude

II.2.1. Objectif général

L'objectif général de cette étude est de faire une étude technique détaillée et environnementale d'un ouvrage de franchissement sur le Ouare et de ses voies d'accès (RD35 : SANGHA- YARGATENGA).

II.2.2. Objectifs spécifiques

Pour atteindre l'objectif général, nous avons fait :

- Une présentation du projet
- Un dimensionnement de la chaussée
- Un assainissement de la route
- Un dimensionnement de l'ouvrage en béton armé
- Une étude de signalisation et sécurité routière
- Une étude d'impact environnementale
- Un devis estimatif du projet.

II.3 Présentation de la zone de projet

La zone de projet se situe dans la province de KOULPELOGO (région du centre – est) plus précisément dans la commune de YARGATENGA. La route à étudier est une route départementale (RD 35) reliant SANGHA à YARGATENGA avec une longueur de 1,5 KM.

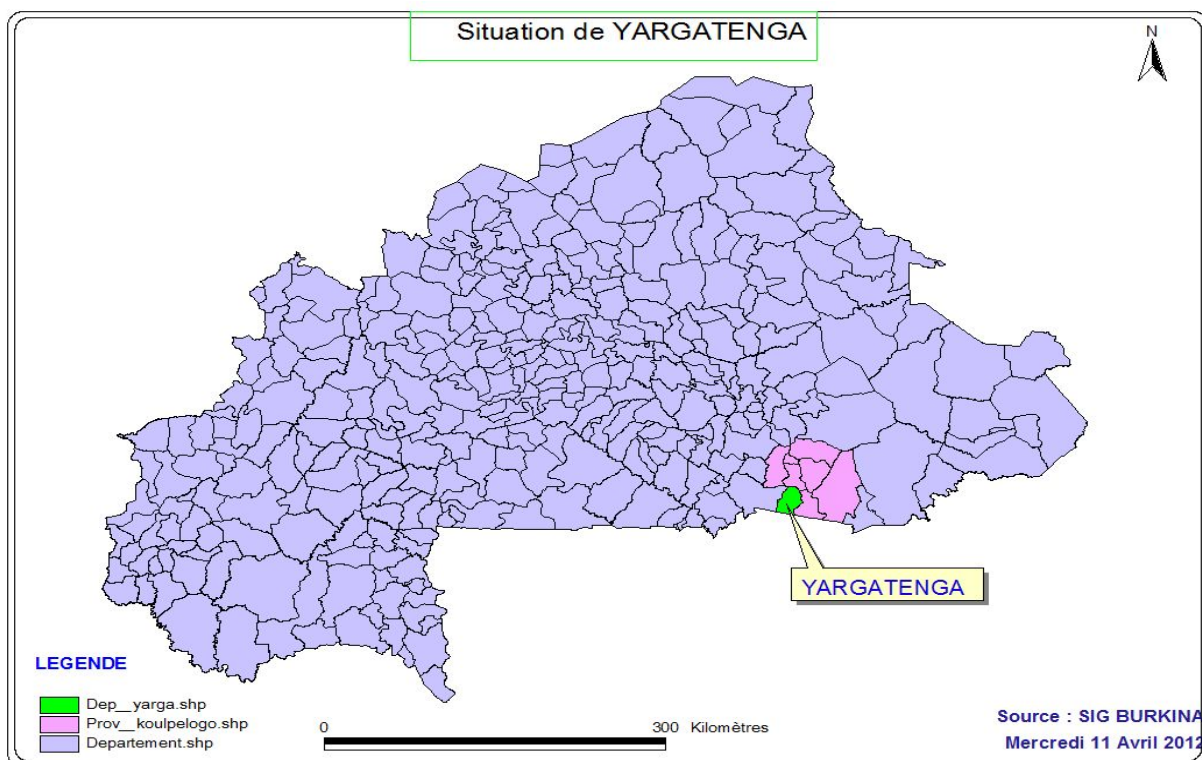


Figure 1 : Carte de situation de la province du KOULPELOGO

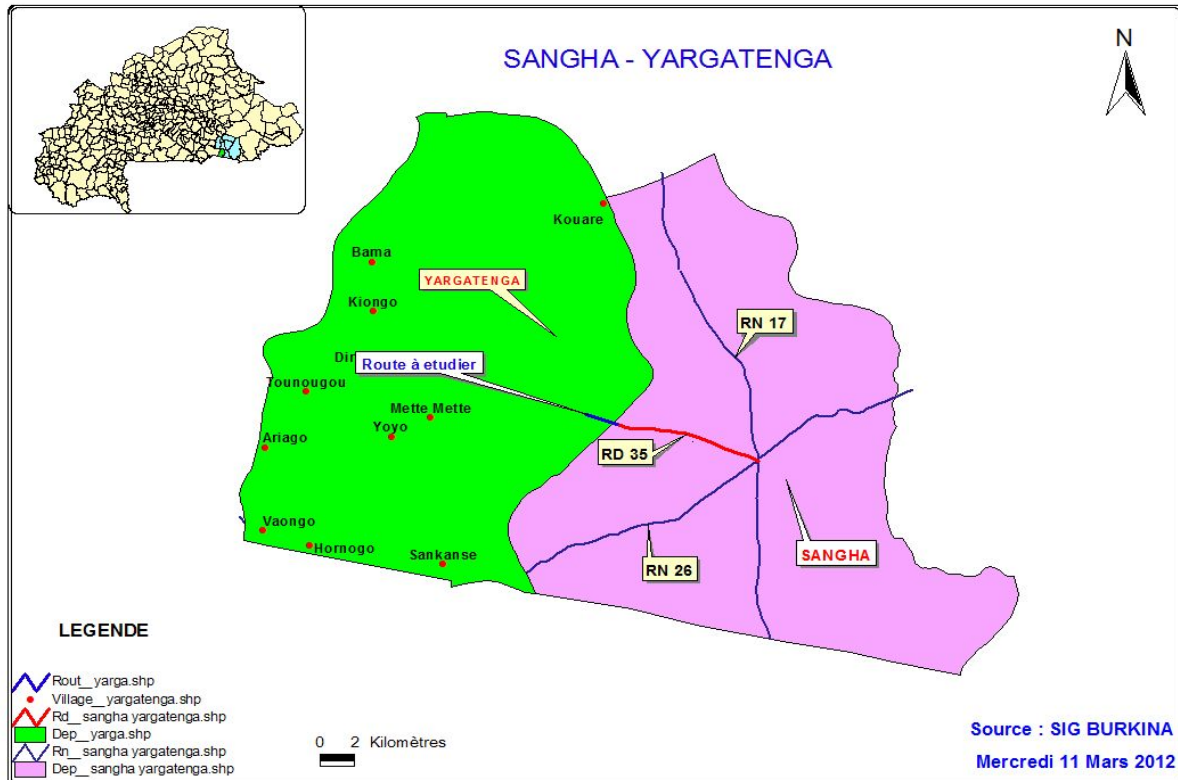


Figure 2 : Carte de situation du site du projet

III. DONNEES PHYSIQUES DE LA ZONE DU PROJET

III.1 Climat

Le climat de la zone d'étude est de type soudanien. Il est caractérisé par une longue saison pluvieuse (sept (07) mois) allant d'Avril à Octobre et d'une courte saison sèche (cinq (05) mois) allant de Novembre à Mars.

III.2 Pluviométrie

La pluviométrie constitue le facteur primordial influençant des régimes hydrologiques des cours d'eau en produisant la matière première des débits des cours d'eau. Encadrée par les isohyètes interannuelles 800 et 1000 mm, la zone abritant le tronçon de route à étudier appartient à une zone climatique tropical sec de type soudanien. La pluie moyenne annuelle est de 830 mm et la pluie journalière décennale est de 108mm.

III.3 Sols et Végétation

Les sols rencontrés dans la zone de projet sont de trois (03) types :

- ❖ Les sols argileux issus de roches basiques. Ces sols sont en association aux vertisols.
- ❖ Les sols argilo-sableux à élément d'arène granitique. Ces sols sont en association aux sols gravillonnaires.
- ❖ Les sols argilo-sableux bigarré. Ces sols sont en association aux lithosols sur cuirasse et aux sols ferrugineux remaniés.

La végétation que l'on rencontre dans cette zone est composée de savanes arbustives et arborées.

III.4 Hydrographie

Le réseau hydrographique concerné par la présente étude appartient au bassin versant du NAKAMBE. Le bassin du NAKAMBE comporte un fort taux de concentration des barrages (environ 500 barrages). La zone de projet est drainée par le OUARE, lui-même affluent du NAKAMBE. Au niveau de YARGATENGA, la route franchit un marigot important qui se jette dans le NAKAMBE.

IV. ETUDE GEOMETRIQUE DE LA ROUTE

Le projet soumis à notre étude consiste à concevoir une route en terre. La route a une plateforme de largeur 6,00m composée uniquement d'une chaussée à deux voies de 6,00m (2*3) sans accotement. L'étude topographique permet d'obtenir :

- ❖ Le tracé en plan de la route,
- ❖ Le profil en long,
- ❖ Un profil en travers type,
- ❖ Des profils en travers.

IV.1 Tracé en plan

Le tracé en plan est la représentation longitudinale de l'axe de la chaussée sur un plan horizontal. Il est composé de lignes droites raccordées par des courbes à grands rayons de courbures pour éviter l'effet des forces centrifuges sur le véhicule.

Le choix de notre tracé en plan prend en compte certains critères dans le but de:

- ❖ Respecter les normes (les rayons et alignements droits) imposés par la vitesse de référence de 60 Km/h.
- ❖ Eviter au maximum les maisons construites
- ❖ Eviter de très longs alignements droits favorables à l'éblouissement par les phares
- ❖ Minimiser les terrassements et autant que faire se peut d'équilibrer les déblais et les remblais
- ❖ Assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort de l'utilisateur
- ❖ Minimiser le déguerpissement

IV.2 Profil en long

Le profil en long résulte de la reproduction à l'échelle réduite d'une projection de l'axe de la chaussée sur un plan vertical. Il est composé d'éléments rectilignes caractérisés par leur déclivité (pente ou rampe), et des raccordements circulaires (ou parabolique) caractérisés par leur rayon. Pour les segments de droites on parle de pente ou rampe suivant que la route descend ou monte.

Pour des raisons de confort dynamique et de confort visuel notamment, le choix de notre profil en long respecte les caractéristiques suivantes :

- ❖ Déclivité maximale 7% ;
- ❖ Rayon minimal en angle saillant (en m) 1500 ;
- ❖ Rayon minimal en angle rentrant (en m) 1500.

Pour assurer le bon écoulement des eaux de ruissellement et éviter leur stagnation sur la chaussée nous avons adopté une pente minimale de 1%.

IV.3 Profil en travers

Le profil en travers de la route est représenté par le tracé de la chaussée et du terrain naturel sur un plan vertical orthogonal à l'axe de la route. Notre route à étudier est une route en terre alors le profil en travers est destiné pour satisfaire les exigences suivantes :

- ❖ Evacuer les eaux des précipitations hors de la plateforme par les chemins courts,
- ❖ Eviter que cette eau s'accumule sur la plateforme,
- ❖ Mettre la chaussée à l'abri des imbibitions provoquées par les eaux stagnantes à proximité de la plateforme.

V. ETUDE GEOTECHNIQUE

La géotechnique routière permet entre autre de prendre en compte deux aspects importants au moment des études et de la réalisation.

- la reconnaissance géotechnique du tracé,
- les matériaux utilisés en remblai, couches de forme, couches de roulement.

➤ **Reconnaissance géotechnique du tracé**

La reconnaissance géotechnique du tracé permet entre autres :

- De connaître la nature du sol tout le long du tracé et d'identifier les traitements ponctuels à effectuer pour obtenir une bonne structure de la chaussée
- D'identifier les différentes carrières d'où seront extraits les matériaux pour exécuter les différentes couches.

Pour y parvenir plusieurs essais ont été réalisés :

- l'analyse granulométrique,
- limites d'atterbergs,
- équivalent de sable,
- Proctor,
- CBR.

Pour un souci économique, on réutilisera autant que possible les matériaux en déblais qui satisfont aux critères de spécifications techniques pour les remblais courants de manière à équilibrer le remblai-déblai et à minimiser les distances de transport. On n'aura recours aux emprunts que quand les possibilités de réutilisation des matériaux de déblais sont épuisées.

VI. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE LA CHAUSSEE

Le dimensionnement de la chaussée consiste à :

- ❖ Déterminer les épaisseurs des différentes couches
- ❖ Déterminer les matériaux adaptés ayant des caractéristiques souhaités.

Ceci dans le but :

- ❖ D'éviter le poinçonnement de la plateforme
- ❖ De permettre à la chaussée de supporter le trafic.

Notre chaussée étant une route en terre alors son corps est composé d'une couche de forme et d'une couche de roulement.

Couche de forme : c'est la couche qui permet de faire l'uni de la chaussée, c'est-à-dire qu'elle permet de donner à la chaussée une forme homogène. Elle est mise en place pour améliorer les corps de remblais, d'empêcher la remontée des eaux et d'éviter la contamination des couches supérieures.

Couche de roulement : C'est la couche qui reçoit le trafic et qui assure le ruissellement des eaux et assure aussi le confort et la sécurité des usagers.

Le choix des matériaux de la chaussée prend compte de la disponibilité des matériaux et de la distance de transport. Pour la couche de forme et la couche de roulement on utilisera du graveleux latéritique.

VI.1 Etude du trafic

VI.1.1. Donnée du trafic

Sur la base de l'étude de trafic effectuée dans l'étude économique, il est nécessaire de rappeler les résultats de l'évolution du trafic après la mise en service des différents tronçons de la route. Le tableau ci-dessous présente la typologie des véhicules considérés pendant le comptage :

Tableau I : Typologie des véhicules considérés pendant le comptage

Moyens intermédiaire de transport	Charrettes, Motocyclettes, Bicyclettes
Véhicules légers	Voitures particulières, Camionnettes, Véhicules tout terrain et Mini -Bus
Poids lourd	Bus, Cars, Autocars, Camions à 2 essieux, Camions à 3essieux, Camions avec remorque, Semi - remorque, et autres

Sur la base de l'évolution démographique et agricole dans la zone du projet, un taux d'accroissement annuel moyen de 4% a été considéré. Le tableau ci-dessous présente les prévisions du trafic sur l'axe du projet à l'horizon 2013, horizon pris comme année de mise en service du projet, et la part du trafic lourd par rapport au trafic cumulé.

Tableau II : volume de trafic à l'horizon 2013 en veh/jour

	Horizon	Véhicules légers	Véhicules lourds	Trafic en uvp	% veh. lourd
RD35 (Ouaré)	2013	23	27	77	70,1%

La campagne de comptage routier réalisée à relever le $t1 = 77 \text{ UVP/J}$ avec un taux des poids lourds de 70%. La largeur de la chaussée est de 6.00 m.

VI.1.2. Calcul du trafic

La formule utilisée pour le calcul du trafic est celle de croissance exponentielle :

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

Avec :

- t_1 = trafic moyen journalier de la première année ;
- t_n = trafic moyen journalier de l'année n ;
- n = nombre d'années (durée de vie) ;
- i = taux d'accroissement annuel du trafic.

$$365 \sum t_n = \text{trafic Cumulé pendant la durée de vie } n.$$

En application numérique nous avons :

$$t_n = t_1(1+i)^{n-1} = 77 (1+0,04)^{2-1} = 81$$

$$365 \sum t_n = 365 \times 30\% t_1 \frac{(1 + i)^n - 1}{i} = 365 \times 53,977 \frac{(1 + 0,04)^5 - 1}{0,04} = 1,07 \cdot 10^5$$

Le résultat obtenu par le calcul du trafic cumulé pendant la durée de vie du projet (5ans) est de $1,07 \cdot 10^5$, ce qui nous permet de déterminer la classe de trafic T1.

Tableau III: Formules d'expression du trafic (source CEBTP 1984)

Nombre de véhicules cumulés	Classe de trafic
$NE < 5 \times 10^5$	T1
$5 \times 10^5 < NE < 1,5 \times 10^6$	T2
$1,5 \times 10^6 < NE < 4 \times 10^6$	T3
$4 \times 10^6 < NE < 1 \times 10^7$	T4
$NE > 1 \times 10^7$	T5

La plateforme de la chaussée à aménager a un CBR de 30 alors nous avons un sol de **type S4**.

Tableau IV: Différentes classes de sols (source CEBTP 1984)

Indice Portant CBR	Classe de sol
$CBR < 5$	S1
$5 \leq CBR < 10$	S2
$10 \leq CBR < 15$	S3
$15 \leq CBR < 30$	S4
$CBR \geq 30$	S5

VI.2 Détermination des épaisseurs des différentes couches

Pour la détermination des épaisseurs des couches de la chaussée nous avons utilisés deux méthodes. La méthode CBR, et la méthode TRRL.

❖ Méthode CBR

Cette méthode donne en fonction du CBR de la plateforme l'épaisseur totale de la chaussée. Cette épaisseur est donnée par la formule de **Peltier** :

$$e = f(\text{CBR}, P) = ((100 + (75 + 50 \log N/10) \sqrt{P})) / ((\text{CBR} + 5))$$

- 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).

Pour le calcul de l'épaisseur de la chaussée nous avons pris un CBR supérieur (CBR corrigé) à celui retenu. Le CBR retenu est de 30 et le CBR corrigé est de 43. Le CBR corrigé est obtenu par le diagramme de l'essai CBR.

$$e = (100 + (75 + 50 \log 27/10) \sqrt{13}) / ((43 + 5)) = 9,337 \text{ cm}$$

$$e = f(\text{CBR}, P) = 9,34 \text{ cm}$$

❖ Méthode des abaques du TRRL (Transportation Road Research Laboratory)

Cette méthode permet également de calculer l'épaisseur de la chaussée nécessaire pour une route en terre. Elle est fonction du CBR du sol de plate-forme et du trafic prévu (poids lourds). Avec cette méthode nous obtenons une épaisseur de **9,5 cm**.

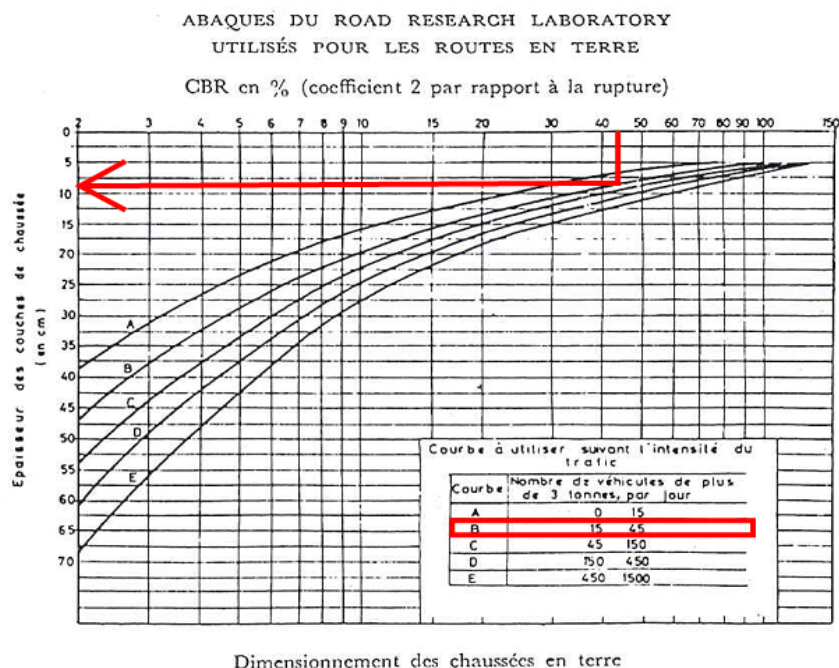


Figure 3 : Abaque déterminant l'épaisseur de la chaussée

Pour le dimensionnement de la chaussée nous avons pris en considération l'usure annuelle sous le trafic.

❖ **Calcul de l'usure sous le trafic**

L'estimation de l'épaisseur correspondant à l'usure annuelle des routes en terres est calculée de deux(02) façons dans le guide du CEBTP :

- L'estimation du CEBTP portant sur l'observation de routes d'Afrique tropical :

<u>Trafic (véhicules/jour)</u>	<u>Usure annuelle</u>
10 – 30.....	1 cm
30 – 100.....	2 cm
100 – 300.....	3 cm

Sur la RD35 le trafic lourd avoisine 30 véhicules/jour ce qui nous permet d'estimer la couche d'usure annuelle à 2 cm.

- Etude de la commission économique des Nations- Unies pour l'Afrique :

$$GL_A = f \left(\frac{TA^2}{TA^2 + 50} \right) (4.2 + 0.092TA + 3.50RL^2 + 1.88V_C)$$

Avec :

- GL_A : perte moyenne annuelle du gravier en mm ;
- f :
 - 0.94 pour gravier latéritique,
 - 1.10 pour gravier quartzique
 - 0.7 pour gravier volcanique
 - 1.5 pour gravier corallien
- TA : trafic annuel dans les deux directions en milliers de véhicules
- RL : pluviométrie annuelle en mètres
- V_C : pente (m par km)

Pour notre étude :

- f est égale à 0.94
- Une pluviométrie annuelle de 830mm
- Une pente moyenne de 3%

$$GL_A = 0,94 \left(\frac{77^2}{77^2 + 50} \right) (4.2 + 0.092 \times 77 + 3.50 \times 0,83 + 1.88 \times 0,03) = 1,28 \text{ cm}$$

GLA=1,3cm. Avec la deuxième méthode nous obtenons une usure annuelle de 1,3 cm.

Le choix de l'épaisseur finale d'usure étant conditionné par la politique et le coût d'objectif de l'aménagement, nous allons prendre une valeur objective maximale de 2 cm.

❖ Epaisseur totale de la chaussée

L'épaisseur Ech de la chaussée est obtenu de la manière suivante :

$$Ech = e + (GL_A \times n)$$

Avec : e=l'épaisseur minimale de la chaussée, GL_A =l'épaisseur d'usure annuelle

n=nombre d'année avant le premier rechargement (La politique de l'entretien périodique des pistes rurales au Burkina fixe une durée de deux (02) ans pour le premier rechargement entretien périodique).

$Ech = 9,34 + (2 \times 2) = 13,34 \text{ cm} \sim 15 \text{ cm}$. L'application de la formule nous donne une couche de roulement totale de **15cm** de matériaux graveleux latéritique avec un CBR égal à 30. Avant la mise en place de la couche de roulement de 15 cm, il est prévu une couche de forme de 30 cm d'épaisseur ayant les mêmes caractéristiques structurales qu'une couche de remblai.

NB : un CBR de 30 a été considéré pour dimensionner la chaussée car à la longue la route sera bitumée donc la couche de roulement sera considérée comme la couche de fondation.

VII. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VII.1 Etude Hydrologique

L'étude hydrologique du projet a déjà été réalisée donc nous avons juste montré la méthodologie du calcul pour la détermination du débit du projet. Les ouvrages d'art hydrauliques évacuent l'eau du Bassin versant donné. Un Bassin versant est caractérisé par sa longueur, sa surface, sa dénivelée, son coefficient de ruissellement et sa pente. Le choix de notre ouvrage est fonction du débit provenant du Bassin versant. Le débit du Bassin versant est déterminé pour des crues décennales, cinquantennale et centennales par plusieurs méthodes : ORSTOM, CIEH, et rationnelle.

- ❖ La méthode ORSTOM : elle s'applique à des bassins dont la superficie est située entre quelques dizaines d'hectares et jusqu'à 1500 km². Elle permet d'évaluer le débit de la crue décennale.
- ❖ La méthode CIEH : elle est appliquée aux bassins versants de superficie < 2500 km² et de pluie annuelle moyenne (Pan) < 2000 mm.
- ❖ La méthode rationnelle : elle est utilisée pour des petits bassins versants dont la superficie est < 4 km².

VII.1.1. Méthode ORSTOM

Formule générale : $Q_{10} = k \times Q_{r10}$

Avec : Q_{10} : débit de crue décennale

k = coefficient majorateur d'écoulement prenant en compte le débit d'écoulement, il varie de l'ordre de 1,03 à 1,15 en fonction de la perméabilité des bassins.

$$Q_{r10} = A.P_{10}.K_{r10}.\alpha_{10}.S/T_{b10}$$

Q_{r10} : débit de pointe de ruissellement superficiel de la crue décennale

A : coefficient d'abattement

S : superficie du bassin versant

P_{10} : pluie décennale journalière

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal

α_{10} : coefficient de pointe de la crue décennale (généralement =2.6)

T_{b10} : temps de base de la crue décennale.

VII.1.2. Méthode CIEH

Formule générale : $Q_{10} = a . S^b . Pan^c . Ig^d . Kr10^e$

Avec : Q_{10} = débit de crue décennale (m³/s)

a , b , c, d , e : coefficient de la régression multiple

S : surface du bassin versant (km²)

Pan : pluie annuelle moyenne (mm)

Ig : indice globale de pente (m/km)

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal.

VII.1.3. Méthode RATIONNELLE

Formule générale : $Q = C.I.A$

Avec : Q : débit maximum de la crue décennale (m³/s)

C : coefficient de ruissellement

I : intensité maximale de la pluie choisie (m/s)

A : superficie du bassin versant (km²).

La superficie de notre bassin versant est de 222,50 km² qui est > 4 km² donc pour déterminer le débit décennal de notre projet la méthode ORSTOM et de CIEH ont été utilisées.

Le débit de projet est déterminé par la relation : $Q_{100} = C \times Q_{10}$

Avec Q_{10} : le débit de crue décennale (m³/s)

$$C : 1 + (P_{100} - P_{10}) / P_{10} \cdot (T_b / 24)^{0,12} / K_{r10}$$

Pour la détermination du débit cinquantennal une interpolation a été faite entre Q_{10} et Q_{100} .

Les résultats du calcul sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V: Synthèse des crues de projet retenues

site	Débit décennal (Q10 en m ³ /s)	Débit cinquantennal (Q50 en m ³ /s)	Débit de projet (Q100 en m ³ /s)
Ouvrage sur le Ouaré (Franchissement RD 35)	59.00	82.00	118.00

VII.2 Etude Hydraulique

VII.2.1. Choix des variantes

La route joue un rôle important dans le transport de personnes et de marchandises. Elle rencontre parfois des obstacles naturels (rivières, thalwegs ...) à franchir, pour remédier à ce problème des ouvrages de franchissement (buses, dalots, ponts ...) sont dimensionnés afin de franchir ces obstacles. La détermination du type d'ouvrage prend en compte plusieurs paramètres :

- ❖ La topographie du terrain
- ❖ La connaissance du débit à évacuer
- ❖ L'aspect sécurité
- ❖ Les contraintes techniques et économiques

L'étude hydrologique a donné un débit égale à **82,00** m³/s > 10 m³/s.

Les buses étant adoptées pour des débits n'excédant pas 10 m³/s, comparé au débit de projet il ne fait plus partie du choix des variantes. Nous optons pour choix deux variantes : le dalot et le pont. Pour ces deux variantes nous ferons une analyse multicritère afin de choisir la variante la plus économique pour l'étude du projet.

VII.2.2. Analyse comparative des deux variantes

Tableau VI : Analyse multicritère des variantes

Critères	Dalot cadre en béton armé (variante 1)	Pont à poutres en béton armé (variante 2)
Technique de réalisation	Mise en œuvre plus facile	Mise en œuvre plus complexe
Entretien	Ne nécessitant pas d'appareils d'appui, cela lui confère une grande facilité d'entretien	Difficile car nécessite beaucoup de moyen pour le changement des appareils d'appuis
Délai de réalisation	Le délai de réalisation est plus long car le coulage est fait sur place.	Le délai de réalisation est réduit car les éléments sont préfabriqués en atelier et sont juste montés sur le chantier
Main d'œuvre	La construction de l'ouvrage nécessite une main d'œuvre moins nombreuse et qualifiée	La construction de l'ouvrage nécessite une main d'œuvre nombreuse et qualifiée

Conclusion : variante 1 : moins coûteuse, procure un entretien facile.

Variante 2 : coûteuse, rapide d'exécution, exige une main d'œuvre qualifiée.

❖ Variante retenue

Après avoir effectué une analyse multicritère des deux variantes, notre choix s'est porté sur la variante 1 (le dalot cadre).

○ *Variante 1 : DALOT*

Le dalot est un ouvrage de franchissement placé sous la chaussée. Il est généralement en béton armé et présente une section rectangulaire ou carrée. Il est adopté pour des débits dépassant 10 m³/s.

Le dalot est constitué :

- Un radier
- Des piédroits
- Un tablier
- quatre murs en aile en amont et en aval
- le remblai d'accès

On distingue trois types de dalots :

- les dalots ordinaires
- les dalots cadres
- les dalots portiques

Compte tenu de l'importance de la brèche du cours d'eau à franchir et du type de sol peu résistant nous optons pour un dalot cadre.

VII.2.3. Dimensionnement hydraulique

Pour le calcul du dalot, connaissant le débit Q on se donne une première valeur de la hauteur D admissible pour le dalot tel que la vitesse moyenne $V = Q/B.D$ ne dépasse pas la vitesse maximale de 3m/s. pour la détermination des sections du dalot nous avons utilisés plusieurs étapes :

- ❖ **Étape 1** : elle consiste à déterminer la hauteur d'eau H en amont de l'ouvrage, cette hauteur d'eau est fonction du débit réduit Q^* et de la hauteur réduite H^* . Connaissant Q, Vitesse admissible, et en se fixant une hauteur D du dalot on déduira la largeur B par la relation $V = Q/B.D$. En ayant la section du dalot on peut calculer le débit réduit Q^* et à l'issue du résultat obtenu par le débit réduit on déduira celui de la hauteur réduite en utilisant un abaque. Les abaques sont présentés en annexe (abaque figure 77 du document **Hydraulique Routière**).

$$Q^* = \frac{Q}{A \sqrt{2gD}} \text{ et } H^* = \frac{H}{D}$$

Avec : Q^* =le débit réduit avec : D = la hauteur du dalot

Q = le débit de projet (m³/s) avec H^* = la hauteur réduite

A = la section du dalot (m²) avec H = la hauteur d'eau en amont

g = l'accélération

- ❖ **Étape 2** : le calcul de la pente critique de l'ouvrage, cette étape c'est pour nous assurer si la vitesse de l'eau dans le dalot reste dans les limites admissibles. Le dalot doit être capable d'évacuer le débit critique correspondant à la hauteur d'eau en amont pour cela il faut que la pente longitudinale du dalot soit au moins égale à la pente critique. Connaissant Q et B on peut obtenir le débit réduit de la pente critique, en ayant le résultat du débit réduit on obtient celui de la pente réduite I_{crit}^* à l'aide d'un abaque (abaque figure 82 du document **Hydraulique Routière**) et on déduit celui de la pente critique I_{crit} . Pour effectuer les calculs nous avons utilisés les formules ci-dessous :

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gB^5}} ; L_{crit}^* = \frac{I_{crit} \times K^2 \times B^{1/3}}{g} ; I_{crit}^* = \frac{I_{crit} \times g}{K^2 \times B^{1/3}}$$

Avec : I_{crit}^* = la pente réduite

I_{crit} = la pente critique

B = la largeur du dalot

K = le coefficient de rugosité

❖ **Etape 3** : le calcul de la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau dans l'ouvrage, il permet de vérifier

- si la vitesse moyenne reste en dessous de la vitesse maximale admissible ($V_{max} = 3m/s$)
- si elle reste suffisante pour éviter les dépôts des particules solides dans le dalot. Connaissant Q, K, I_{crit} , B on déterminera le débit réduit de la vitesse moyenne, à l'aide de ce calcul on obtiendra la vitesse réduite V^* à l'aide d'un abaque (abaque figure 84 du document **Hydraulique Routière**) et enfin on déduira la vitesse de sortie V. les formules qui ont servi pour le calcul sont les suivantes :

$$Q^* = \frac{Q}{K \times I_{crit}^{1/2} \times B^{8/3}} , V^* = \frac{V}{K \times I_{crit}^{1/2} \times B^{2/3}} , v = V^* \times K \times I_{crit}^{1/2} \times B^{2/3}$$

Avec : V^* = la vitesse réduite

V = la vitesse de sortie

Nous tenons à préciser que toutes les formules utilisées ci-dessus proviennent du document **Hydraulique Routière**. Le détail du calcul est présenté en annexe. Les résultats de nos calculs sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau VII: Résultats récapitulatif du dimensionnement hydraulique

	nombre d'ouverture n	8
ETAPE 1	débit de projet Q (m ³ /s)	82
	débit unitaire q (m ³ /s)	10,25
	vitesse admissible V (m/s)	3
	section A (m ²)	8
	hauteur D (m)	2
	largeur B (m)	4
	débit réduit Q*	0,20
	g	9,8
	hauteur réduite H*	0,64
	hauteur d'eau en amont H (m)	1,28
ETAPE 2	débit réduit Q*	0,10
	K	67
	pente critique I _{crit} *	2,68
	pente critique I _{crit}	0,004
ETAPE 3	débit réduit Q*	0,06
	vitesse réduite V*	0,28
	vitesse de sortie V	2,87

Les conditions nécessaires pour valider le choix des dimensions du dalot sont les suivantes :

- ❖ hauteur d'eau en amont doit être inférieure à la hauteur de l'ouvrage ($H < D$)
- ❖ la vitesse de sortie doit être inférieure à la vitesse admissible ($V < V_{admissible}$)

En se référant aux conditions nécessaires nous remarquons qu'à l'issue des résultats de nos calculs nous avons :

- La hauteur d'eau H à l'amont de 1,28m qui est inférieure à la hauteur du dalot qui est de 2m. il n'y aura donc pas de passage d'eau sur l'ouvrage donc on peut conclure que la profondeur est parfaitement acceptable.
- La vitesse de sortie V (=2,87m/s) est inférieure à la vitesse admissible du sol (Vadm =3m/s) donc la vitesse est également acceptable.

Toutes les conditions étant respectées nous pouvons dire que le choix des dimensions du dalot est bon donc nous avons un dalot de huit ouvertures (**n**), d'une hauteur(**D**) de deux (2) mètre et d'une largeur (**B**) de quatre (4) mètres (8 x 4 x 2). Pour la suite de notre étude nous avons prévu de mettre un joint de dilatation à la moitié de l'ouvrage ce qui nous amène à obtenir un dalot de deux (2) batteries de type **n x B x D = 4 x 4 x 2**. Le dalot est muni de murs en aile faisant 45° avec l'axe afin d'améliorer les conditions d'entrée.

VII.2.4. Pré-dimensionnement du dalot

Le pré-dimensionnement permet de déterminer les épaisseurs des différents éléments du dalot cadre (tablier, piédroits, radier). Les formules nécessaires pour le pré-dimensionnement sont les suivantes :

$$e = \frac{L}{32} + 0,125 \text{ m} \quad \text{avec } L \text{ la portée du dalot, } e : \text{l'épaisseur initiale de la traverse}$$

la formule ci-dessus est valable que lorsque l'ouvrage ne supporte pas de remblais or dans notre étude nous avons prévu sur le dalot un remblai de 50 cm donc pour obtenir l'épaisseur réelle des piédroits, du tablier, et du radier nous avons utilisés la formule suivante :

$$E = e \sqrt{1 + \frac{H \cdot d^2}{2000 \cdot e^2}}$$

H : hauteur de remblai (m), **d** : l'ouverture de l'ouvrage,

E : l'épaisseur des traverses

e : l'épaisseur initiale de la traverse.

Les résultats du calcul sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau VIII : Récapitulatifs du pré-dimensionnement du dalot

Désignation	Tablier	Radier	Piédroit
Épaisseur (m)	0,3	0,3	0,3

VIII. DIMENSIONNEMENT DE LA VARIANTE CHOISIE

Pour le dimensionnement de l'ouvrage, notre choix s'est orienté sur la variante 1 qui est le dalot cadre car il est moins coûteux et son entretien est facile. Notre dalot est de 8 x 4 x 2 soit une longueur totale de 34,5 m, nous avons prévu de mettre un joint à la moitié de l'ouvrage sur une distance de 17,25 m afin de tenir compte de la dilatation du béton ce qui nous ramène à un dalot de 4 x 4 x 2. Le dimensionnement de l'ouvrage se fera sur une représentation d'une batterie de 4 ouvertures de 4,00m x 2,00m. Le ferrailage ainsi obtenu sera appliqué au reste de l'ouvrage.

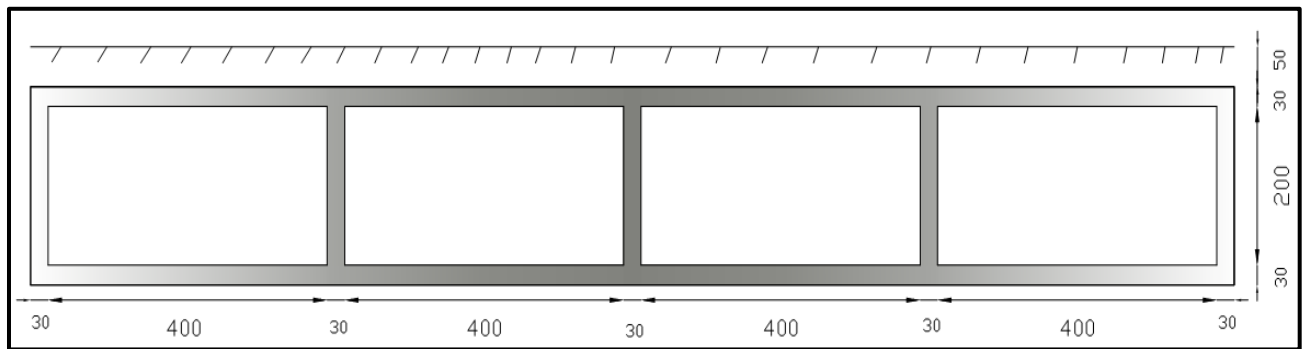


Figure 4 : Schéma du dalot cadre de 4x4x2

VIII.1 Principe de calcul des sollicitations

Le dalot étant à ouvertures multiples, les valeurs des sollicitations du moment fléchissant M et de l'effort normal N seront déterminées par **l'équation des trois moments**. De manière générale, nous avons effectués les calculs par bande de 1,00 mètre linéaire de largeur de dalot.

VIII.2 Schéma de calcul équivalent

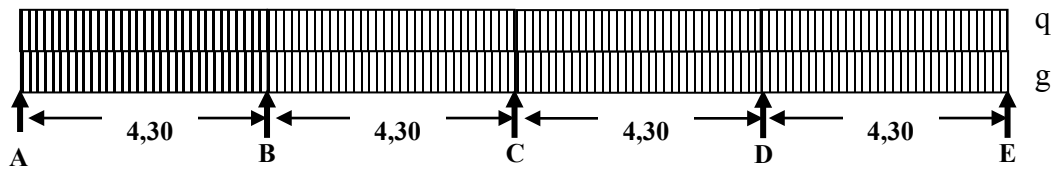


Figure 5 : Schéma de calcul équivalent

Les résultats des calculs des sollicitations sont résumés dans le tableau ci-dessous et les notes de calculs sont présentées en annexe. L'ouvrage est calculé par rapport au convoi de camion de type **Bc, Bt, Br et Mc120**. Le détail du calcul est présenté en annexe.

Choix : la charge du système **Bt** est la plus défavorable. Car elle développe une surcharge beaucoup plus élevée que les autres systèmes donc notre choix s'est porté sur le système **Bt**.

Nous avons utilisés le système **Bt** pour le calcul des armatures du tablier et le radier car il donne les moments les plus élevés. Pour le calcul des pénétrations de l'ouvrage nous avons considérés l'effort de freinage pour la stabilité des appuis, uniquement pour le système **A** et **Bc** car ces deux systèmes sont susceptibles de développer des réactions de freinage.

Nous avons utilisés les efforts du système **Bc** pour le calcul des armatures des pénétrations. Pour plus de détail voir annexe.

Tableau IX : Récapitulatif du calcul des armatures

	Tablier				Radier				Piédroits		
	Travées		Appuis		Travées		Appuis		Internes	Central	Externes
	AB - DE	BC - CD	B = D	C	AB - DE	BC - CD	B = D	C	B et D	C	A et E
Moment Mg (KN.m)	34,25	15,8	47	31,2	51,34	23,7	70,43	46,73			13,5
Moment Mq (KN.m)	51,75	26,1	77,55	51,46	49,78	25,1	74,61	49,51			119,2
Effort Ng (KN)									174,97	142,05	60,16
Effort Nq (KN)									192,66	156,42	66,24
Moment ELU (Mu en KN.m)	129,56	63,35	188,31	124,97	149,45	72,41	215,2	143,91			210,13
Moment ELS (Ms en KN.m)	96,35	47,12	140,06	92,95	111,08	53,82	159,96	106,97			156,54
Effort Normal ELU (Nu en KN.m)									546,39	443,6	187,86
Effort Normal ELS (Ns en KN.m)									406,162	329,75	139,65

IX. DIMENSIONNEMENT DU BETON ARME

IX.1 Hypothèse de base

IX.1.1. Règlements et instructions

Les calculs de ferrailage sont menés suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites dites règles B.A.E.L 91 (mod 99).

IX.1.2. Caracteristiques des matériaux

❖ Acier

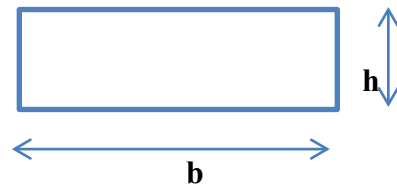
- Nuance : Acier à Haute Adhérence Fe E 400
- Limite d'élasticité $F_e = 400$ Mpa
- Contrainte de calcul de l'acier : $\sigma_s = F_e/\gamma_s = 400/1,15 = 347,826$ Mpa avec $\gamma_s = 1,15$.

❖ Béton

- Poids volumique = 25 KN/m³ (béton armé)
- Fissuration peu préjudiciable (FPP)
 - Résistance nominale à 28 j
 - A la compression $F_{c28} = 25$ Mpa
- A la traction $F_{t28} = 0,6 + 0,06 \cdot F_{c28} = 2,1$ Mpa
- Contrainte de calcul : $\sigma_{bc} = 0,85 \cdot F_{c28}/\gamma_b = 0,85 \cdot 25/1,5 = 14,16$ Mpa avec $\gamma_b = 1,5$.

IX.2 Calcul des armatures du tablier

Pour la détermination des sections d'armatures nous avons considérés une section rectangulaire. le calcul est mené à l'état limite ultime (ELU) et vérifié à l'état limite de service (ELS) :



Données de calcul : $b = 1,00 \text{ m}$, $h = 0,3 \text{ m}$ $d = 0,27 \text{ m}$ $f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$ $f_e = 400 \text{ Mpa}$,
 $\mu_l = 0,39$

$$\sigma_s = 347,826 \text{ Mpa} \quad \sigma_{bc} = 14,16 \text{ Mpa} \quad f_{t28} = 2,1 \text{ Mpa} ,$$

les formules qui ont conduits à la détermination des sections des armatures sont les suivantes :

❖ **Calcul à l'Etat Limite Ultime**

$$\mu = \frac{M_U}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} \quad \alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu}) \quad \beta = 1 - 0,4 \times \alpha \quad A_U = \frac{M_U}{\beta \times d \times \sigma_s}$$

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

$$\mu = \frac{M_S}{b \times d^2 \times \sigma_s} \quad \lambda = 1 + 30 \times \mu \quad \varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) \quad \alpha = 1 + 2\sqrt{\lambda} \cos(240 + \frac{\varphi}{3})$$

$$\beta = 1 - \frac{\alpha}{3} \quad A_s = \frac{M_s}{\beta \times d \times \sigma_s}$$

❖ **Condition de non fragilité de la section**

$$A_{smin} \geq 0,23 b o d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

❖ **Choix de la section :** $A = \text{Max} (A_u , A_s, A_{smin})$

Le principe de calcul est le même pour le radier ainsi que pour le tablier d'où le resultat récapitulatif des sections d'armatures dans le tableau suivant :

Tableau X: récapitulatif des sections d'armatures

	Tablier				Rablier			
	Travées		Appuis		Travées		Appuis	
	AB - DE	BC - CD	B - D	C	AB - DE	BC - CD	B - D	C
Moment Mu (MN.m)	0,129	0,063	0,187	0,124	0,148	0,073	0,215	0,142
Section Au (cm²)	14,8	6,96	22,38	14,28	17,21	8,02	26,25	16,52
Moment Ms (MN.m)	0,096	0,047	0,14	0,093	0,110	0,053	0,159	0,106
Section As (cm²)	11,34	6,96	16,87	10,97	13,10	6,21	19,41	12,60
Section minimale Asmin (cm²)	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
Section retenue (cm²)	14,8	6,96	22,38	14,28	17,21	8,02	26,25	16,52
Choix des armatures	8HA16	6HA14	8HA20	5HA20	6HA20	4HA16	9HA20	6HA20
Section réelle (cm²)	16,08	9,24	25,13	15,75	18,85	8,04	28,27	18,85

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

- Pour le tablier (les éléments AB–DE et BC-CD) : les aciers calculés en mi-travée sont les aciers du lit inférieur et ceux calculés aux appuis B-D et C sont les aciers du lit supérieur ;
- Pour le radier (les éléments AB–DE et BC-CD) : les aciers calculés en mi-travée sont les aciers du lit supérieur et ceux calculés aux appuis B-D et C sont les aciers du lit inférieur ;
- les aciers calculés sont les aciers à répartir dans le sens de la plus petite portée de la bande ; c'est-à-dire dans le sens de $b = 1m$;

Le diamètre des aciers dans le sens de la plus grande portée (\varnothing_y) est déduite de celui des aciers calculés d'où $A_r \geq A_u/4$

IX.3 Calcul des armatures des piédroits

❖ Piédroits externes (A et E)

Pour le calcul des armatures, nous avons considéré les piédroits au mètre linéaire comme des poteaux de 100 x 30. Le calcul des poteaux sera conduit à l'état limite ultime (ELU) alors la combinaison d'action considérée sera : $M_u = 1,35 M_g + 1,61 M_q$ et $N_u = 1,35 N_g + 1,61 N_q$

A l'issu de ces formules on obtient : M_u et N_u ce qui va nous amener à calculer l'excentricité,

Excentricité $e = M_u/N_u = 1,19 > 4h$ d'où le calcul sera conduit en flexion simple,

Le moment par rapport aux aciers tendus : $M = M_u + N_u \left[d - \frac{h}{2} \right]$

Le principe de calcul est le même que pour le tablier et le radier c'est-à-dire nous allons mener nos calculs à l'ELU et faire la vérification à l'ELS.

❖ Piédroits intermédiaires (B - D et C)

Le calcul des piédroits intermédiaires est conduit uniquement à l'état limite ultime (ELU), le principe de calcul est mené de la façon suivante :

$$B_r = (a - 0,02)(b - 0,02) \quad , \quad \lambda = \sqrt{12} \times \frac{l_f}{a} \quad \alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2}$$

$$A_u = \frac{\gamma_s}{f_e} \left(\frac{N_u}{\alpha} - \frac{B_r X f_c j}{1,35} \right) \quad A_{smin} = \text{Max} (8 (a + b); 20. a x b)$$

,

Tableau XI: Récapitulatif des sections d'armatures

	Piédroits externe A et E	Piédroits intermédiaire B et D	Piédroits central C
Moment Mu (MN.m)	0,2 32	-	-
Effort Nu (MN.m)	-	0,546	0,443
Section Au (cm²)	28,4	0	0
Moment Ms (MN.m)	0,173	-	-
Section As (cm²)	21,10	-	-
Section minimale Asmin (cm²)	3,26	10,4	10,4
Section retenue (cm²)	28,4	10,4	10,4
Choix des armatures	10HA20	8HA14	8HA14
Section réelle (cm²)	31,42	12,32	12,32

NB : le calcul est conduit à l'ELU, nous devons parallèlement vérifiés aux ELS. On remarque qu'après les calculs $\mu_u < \mu_{lu}$ donc le dimensionnement aux ELU donne des sections d'acier plus grande, ce qui implique que les ELS sont automatiquement vérifiés.

Le calcul des armatures répartition est effectué de la façon suivante : $A_r \geq A_u/4$

Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau XII: récapitulatif des sections d'armature de répartition

	Tablier				Radier				Piédroits		
	Travée		Appuis		Travée		Appuis		exter	inter	cen
	AB-DE	BC-CD	B-D	C	AB-DE	BC-CD	B-D	C	A-E	B-D	C
Au(cm²)	14,8	6,96	22,38	14,28	17,21	8,02	26,25	16,52	28,4	10,4	10,4
Ar (cm²)	4	2,0	6,00	3,6	4,3	2,00	6,6	4,20	7,10	3,00	3,00
Choix	6HA10	3HA10	8HA10	5HA10	6HA10	3HA10	9HA10	6HA10	7HA12	4HA10	4HA10
Section retenue (cm²)	4,71	2,36	6,28	3,93	4,71	2,36	7,07	4,71	7,92	3,14	3,14

IX.4 Dimensionnement du mur en aile

Pour le calcul du mur en aile nous l'avons considéré comme un mur de soutènement, il est constitué d'un rideau ou voile qui reçoit et qui contient la poussée des terres et d'une semelle (patin plus talon) qui sert de fondation à l'ouvrage.

IX.4.1. Pré-dimensionnement

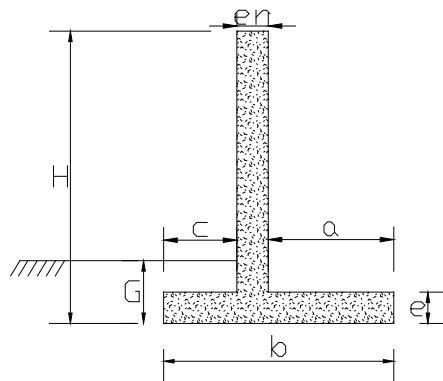


Figure 6 : Schéma du mur en aile

H : la hauteur totale du dalot, b : la largeur de la semelle, e : l'épaisseur de la semelle, c : la longueur du patin, a : la longueur du talon, e_r : l'épaisseur du rideau. Pour le pré-dimensionnement nous avons utilisés les formules suivantes, ces formules nous donnent les valeurs minimales :

Soit $H = 2,5$ m

- La largeur de la semelle : $b = (0,2 \text{ à } 0,45) * H$
- L'épaisseur de la semelle : $e = 0,08333 * H$
- La hauteur du rideau : $H_r = H - e$
- L'épaisseur du rideau : $e_r = 0,08333 * H$
- La longueur du patin : $c = (0,125 \text{ à } 0,20) * H$
- La longueur du talon : $a = b - c - e_r$

A l'issue de toutes ces formules nous avons obtenu les résultats qui sont résumés dans le tableau ci-dessous, le détail du calcul se trouve en annexe.

Tableau XIII: récapitulatif du pré-dimensionnement du mur en aile

Hauteur totale du dalot	Largeur de la semelle	Epaisseur de la semelle	Hauteur du rideau	Epaisseur du rideau	Longueur du patin	Longueur du talon
2,5 m	1,5 m	0,25 m	2,25 m	0,25 m	0,5 m	0,75 m

A l'issue des résultats du pré-dimensionnement nous avons procédé à la détermination des sections d'armatures, pour effectuer cela nous avons procéder de la manière suivante :

Comme hypothèse de calcul : l'état du terrain étant humide alors l'angle de frottement interne $\varphi = 35^\circ$, poids volumique des terres $\gamma = 18KN/m^3$

Caractéristiques moyennes des terrains

Terrains	État sec		État humide		État noyé	
	φ	γ	φ	γ	φ	γ
Terre tassée	35 à 40	14	35	16	25 à 30	11
Sable et graviers.....	35	16	35 à 40	18	30 à 35	11
Sable argileux	30 à 35	16	30 à 35	18	30	11
Sable de dune.....	30	16	25 à 30	18	25	11
Vase	30 à 35	16	20 à 25	18	5 à 20	9
Tourbe	45	8	45	11	40	6
Argile	35 à 40	16	25 à 30	18	20 à 25	10
Marne	45	16	45	18	45	11
Éboulis de pierres.....	45	16	45	18	45	11

Figure 7 : Caractéristiques moyennes des terrains

Les hypothèses nous ont permis de calculer le coefficient de poussée $K = \tan^2(45 - \varphi/2)$, les contraintes verticales ($\sigma_v = \gamma \times H$) et les contraintes horizontales ($\sigma_h = k \times \sigma_v$).

IX.4.2. Inventaire des actions agissant sur le mur en aile:

❖ Charges verticales

- poids propre du rideau (voile) W_r
- poids propre de la semelle W_s
- poids propre du massif du sol W_{sol}
- charge d'exploitation W_q

❖ Charges horizontales

- poussée du sol P_s
- charge d'exploitation P_q

Après avoir effectué l'inventaire et déterminer le poids propre des actions agissant sur le mur nous avons calculés les sollicitations et les moments dus à ces différentes charges. Le détail du calcul se trouve en annexe, les résultats de nos calculs sont résumés dans le tableau ci-dessous:

Tableau XIV: Récapitulatif des résultats du calcul des efforts du mur en aile

		Sollicitations en KN	Moments en KN.m/ml
Charges verticales	Poids propre du rideau (voile) W_r	14,10	8,80
	Poids propre de la semelle W_s	9,375	7,00
	Poids propre du massif du sol W_{sol}	30,375	34,20
	Charge d'exploitation W_q	7,50	8,44
TOTAL		61,35	58,44
Charges horizontales	Poussée du sol P_s	15,18	12,65
	Charge d'exploitation P_q	6,75	8,44
TOTAL		21,93	21,09

IX.4.3. Verification du predimensionnement

- ❖ la portance (on suppose que le sol est en compression simple)

$$\sigma \leq q_d = 0,2 \text{ Mpa} \quad \text{Or } \sigma = F / S$$

Avec F = Somme totale des charges verticales , S = Section de la semelle

$$\sigma = F / S = 61,35 / 1,5 \times 1,00 = 41,00 \text{ kpa}$$

$$\sigma = 41,00 < 200 \text{ kpa} \quad \text{ok}$$

- ❖ la stabilité au renversement: $\frac{\Sigma M_{vertical}}{\Sigma M_{horizontal}} > 1,5$

$$\frac{\Sigma M_{vertical}}{\Sigma M_{horizontal}} = \frac{58,44}{21,09} = 2,77, \quad \mathbf{2,77 > 1,5 \text{ ok}}$$

- ❖ la stabilité au glissement

$$\frac{Rh}{Ph} > 1,5 \quad \text{Avec } Rh = \tan \varphi \times F = \tan 35 \times 61,35 = 43,00 \text{ KN}$$

Avec Rh = des charges horizontales dues aux charges verticales, Ph = somme totale des charges horizontales

$$\frac{Rh}{Ph} > 1,5 = \frac{43,00}{21,93} = 1,96 > 1,5$$

$$\mathbf{1,96 > 1,5 \text{ ok}}$$

C/C: le pré-dimensionnement du mur en aile est bon.

IX.4.4. Calculs du béton armé

Le calcul se fait sur une bande de 1,00 m de longueur d'ouvrage, le calcul est conduit à l'ELU. La semelle sera considérée comme bien dimensionnée si la contrainte au $\frac{3}{4}$ de la largeur de la semelle $\sigma_{3/4}$ est inférieure à la contrainte de calcul du sol $q_s (=0,2\text{Mpa})$.

$\sigma_{3/4} = \frac{(3x\sigma_M + \sigma_m)}{4} \leq q_s = 0,2 \text{ Mpa}$, $\sigma_{3/4} = 120 \text{ kpa} \leq 200 \text{ kpa}$ (le détail du calcul est en annexe)

Cette condition étant vérifiée nous avons calculer les armatures des différents éléments du mur:

Armature du talon: on considère le talon comme une dalle en console encastrée sur le rideau, on néglige le poids propre de la semelle, les Sollicitations résultantes entre les efforts verticaux sur le talon et la réaction du sol sont:

- $M_u = (1,35 \times W_{sol} + 1,5 \times W_q) \times a/2 - \sigma_m \times a^2/2 - (\sigma_M - \sigma_m) \times a^3/6xb$
- $N_u = (1,35 \times W_{sol} + 1,5 \times W_q) - \sigma_m \times a - (\sigma_M - \sigma_m) \times a^2/2xb$

Armature du patin : on néglige le poids des terres sur le patin ainsi que le poids propre de la semelle, les sollicitations de calcul sont :

- $M_u = (\sigma_M \times (1 - c/b) + \sigma_m \times c/b) \times c^2/b + (\sigma_M - \sigma_m) \times c^3/2xb$
- $N_u = (\sigma_M \times (1 - c/b) + \sigma_m \times c/b) \times b + (\sigma_M - \sigma_m) \times c^2/2xb$

Armature du rideau : la butée et le poids propre du mur étant négligé, le rideau est soumis à une sollicitation de flexion simple, le rideau est considéré comme une console encastrée sur la semelle donc le moment sur la hauteur du voile est:

- $M_u = 1,35 \times P_s \times (h_s - e) + 1,5 \times P_q \times (h_q - e)$
- $N_u = 1,35 \times P_s + 1,5 \times P_q$

On calcul avec M_u la section des armatures principales et pour les armatures de répartition on utilise:

$$A_r \geq \text{Max} (A_u/4 ; 0,08*e).$$

Nous précisons que le détail concernant le calcul du mur en aile est présenté en annexe. A l'issu de toutes ces formules nous avons le résultat récapitulatif de nos calculs dans le tableau suivant:

Tableau XV: Récapitulatif des Section d'armatures principales

	Moment Mu (KN.m/ml)	Section Au (cm ²)	Section minimale Amin (cm ²)	Section choisie (cm ²)	Choix des armatures	Section Retenue (cm ²)
Rideau	18,00	2,33	2,72	2,72	4HA10	3,14
Patin	27,11	3,53	2,72	3,53	5HA10	3,93
Talon	27,85	3,63	2,72	3,63	5HA10	3,93

IX.4.5. Calcul des armatures de répartition

$$A_r \geq \text{Max} (A_u/4 ; 0,08*e)$$

Tableau XVI: Récapitulatif des Section d'armatures de répartition

	Section Au (cm ²)	Choix des armatures	Section Retenue (cm ²)
Rideau	2	4HA8	2,01
Patin	2	4HA8	2,01
Talon	2	4HA8	2,01

NB: nous notons que pour le dalot il est prévu une protection pour limiter les dégradations dues à l'eau:

- Construction de mur en aile en amont et en aval de l'ouvrage
- Mise en place d'une couche d'enrochement à l'amont de l'ouvrage
- Mise en place d'une couche de gabions à l'aval de l'ouvrage.

X. SIGNALISATION ROUTIÈRE-SÉCURITÉ

X.1 Signalisation routière

La signalisation routière désigne l'ensemble des signaux conventionnels implantés sur le domaine routier et destinés à assurer la sécurité des usagers de la route, soit en les informant des dangers et des prescriptions relatifs à la circulation, soit en leur indiquant les repères et équipements utiles à leurs déplacements. Elle comprend deux grands ensembles:

- ❖ la signalisation routière verticale qui comprend les panneaux, les balises, les bornes, et les feux tricolores.
- ❖ La signalisation routière horizontale, constituée des marquages au sol.

Etant donné que notre projet à étudier est une route en terre aucune signalisation horizontale ne sera réalisée. Nous ne mettrons en place que des signalisations verticales, seules les signalisations par panneaux seront considérées.

Les signalisations verticales, on distingue les signalisations verticales temporaires et permanentes.

- ❖ La signalisation verticale permanente, elle sera mise en place à l'achèvement des travaux, elle comprend:
 - Les panneaux A1a, A1b, A1c, A1d, ils sont utilisés pour annoncer un virage. Comme notre route se trouve en rase campagne alors l'annonce des panneaux se fait à environ 150 m du danger. Les panneaux E32 pour indiquer le cours d'eau franchit.
- ❖ La signalisation verticale temporaire, elle sera mise en place avant le démarrage des travaux, elle comprend:
 - ❖ Des panneaux de limitation de vitesse de type P1 et P2
 - ❖ Des panneaux de type K5 (cône, piquets) pour délimiter les obstacles temporaires

X.2 Sécurité routière

En vue de prévenir les accidents et réduire les risques d'accidents pour les différents usagers, des dispositions sont prises par la mise en place de :

- ❖ Barrière de sécurité sur l'ouvrage
- ❖ Glissière de sécurité sur les rampes d'accès de l'ouvrage

XI. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

XI.1 Les impacts socio-économiques

Les impacts socio-économiques du projet seront importants dont les principaux sont les suivants:

- amélioration des conditions de vie et la réduction du coût du transport
- création d'emplois pour un grand nombre d'ouvrier locaux pendant toute la durée des travaux
- amélioration des conditions de vie de ces ouvriers et de leurs proches

XI.2 Les impacts positifs et négatifs en phase de réalisation et en phase d'exploitation du projet

❖ les impacts positifs

- En phase de chantier

Les impacts positifs de ce projet sont surtout d'ordre socio-économique. Il s'agit de:

- La création d'emplois et de revenus financiers pour plusieurs personnes dont beaucoup d'ouvriers locaux, pendant la durée des travaux. L'injection d'argent dans la zone du projet permettra une amélioration des conditions de vie de ces ouvriers et de leurs familles.

- En phase d'exploitation de la route :
 - L'amélioration des échanges entre les différents départements de la région du centre est
 - Le désenclavement et la mise en valeur des zones agricoles et les potentialités régionales non encore exploitées;
 - L'amélioration des conditions de circulation et la sécurité des usagers de la route, ainsi que la réduction des durées de trajet, des coûts d'exploitation des véhicules;
 - L'amélioration globale du niveau de revenus des populations et la réduction de la pauvreté au niveau des ménages démunis.

❖ les impacts négatifs

- En phase de chantier

Le projet comporte des impacts négatifs potentiels au plan de la santé publique, de la sécurité, de l'altération du cadre de vie, la dégradation des sols et la perte de végétation.

- Les impacts potentiels d'ordre sanitaire sont surtout les risques de propagation du VIH/SIDA dans les agglomérations traversées par le projet ;
 - En ce qui concerne l'ordre sécuritaire, ils sont liés à la gestion des chantiers, l'organisation de la circulation des engins, la circulation des usagers de la voie, la manipulation des explosifs aux sites de carrières ;
 - L'occupation d'espaces naturels suite à l'exploitation de zones d'emprunts et de gîtes de carrières, ainsi que l'érosion des sols du au fonctionnement des engins aux alentours de ces sites ;
 - La perte de végétation en régénération en raison de l'emprise nécessaire à la bonne gestion des travaux le long de la route.
- En phase d'exploitation , les impacts négatifs potentiels sont:

- Les impacts d'ordre sanitaire liés au risque de propagation du VIH/SIDA en raison du brassage entre les populations et les usagers de la route: autochtones, étrangers;
- Les impacts d'ordre sécuritaire en raison des risques d'accidents tant pour les riverains que pour les usagers.

Pour atténuer les impacts environnementaux un grand nombre de mesures seront prises:

Les principales mesures d'atténuation des impacts positifs sont:

- ❖ La sensibilisation des ouvriers du chantier à l'épargne
- ❖ La sensibilisation des populations sur les possibilités de diversification de leurs sources de revenu en rapport avec les facilités de transport qu'offrent la voie

Les principales mesures d'atténuation des impacts négatifs sont:

- ❖ Les mesures de prévention contre le VIH/SIDA par des projections de films éducatifs, des séances de causerie débats, des tests de dépistage volontaire, des panneaux d'information et de sensibilisation planté au bord de la voie.
- ❖ Les mesures prises pour la perte de végétation sont les reboisements

XII. DEVIS ESTIMATIF DU PROJET

Le devis estimatif permet de déterminer le degré de rentabilité du projet, il est une estimation des prix réalisés avant l'exécution des travaux. Pour avoir une idée sur le coût de notre projet nous avons réalisé un devis estimatif, il prend en compte tous les travaux intervenant à la réalisation du projet. Le coût du projet est récapitulé dans le tableau ci-dessous, le détail sur les différents prix appliqués est présenté en annexe.

Tableau XVII: Récapitulatif du coût du projet

N°	Désignation	Prix (FCFA)
I	Travaux Préparatoires	17 000 000,00
II	Préparation du terrain et terrassements généraux	29 619 000,00
III	Chaussée	22 750 000,00
IV	Ouvrage d'assainissement	1 433 000,00
V	Ouvrage d'art (dalot)	33 152 500,00
VI	Ouvrage de protection	2 000 000,00
VII	Signalisation-Sécurité	525 000,00
VIII	Environnement	5 000 000,00
	TOTAL HTVA	121 051 150,00
	TVA 18%	21 789 207,00
	TOTAL TTC	142 840 357,00

XIII. CONCLUSION

Cette étude avait comme objectif de proposer une étude technique détaillée et environnementale d'un ouvrage de franchissement sur le Ouaré et de ses voies d'accès. Pour atteindre ces objectifs, il était utile pour nous de recourir d'une part à une documentation bien fournie mais aussi d'avoir l'aide des ingénieurs spécialistes ou expérimentés en route et ouvrages d'art. La réalisation de notre projet nécessite une somme totale de

142 840 357,00 FCFA TTC.

L'étude de ce projet nous a permis de mettre en application nos connaissances théoriques en vue de proposer un projet réaliste, il nous a également permis de voir les difficultés liés aux études d'aménagement des routes.

BIBLIOGRAPHIE

- Bakary Hema. (1993). Notes de cours de béton armé. EIER.
- Bakary Hema. (2012). Note de cours de ponts et ouvrages d'art.
- Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics. (1980).
Guide Pratique De Dimensionnement Des Chaussées Pour Les Pays Tropicaux. CEBTP.
Ministère de l'équipement et du logement, France, et Ministère de l'Economie et des finances,
France. (1999). Fascicule N°61 : Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art.
- Nguyen Van Tuu, Bernard Lemoine, et Jacques Pouplard. (1981). Hydraulique routière.
Ministère de la Coopération et du Développement, France.
- Othman Ben Mekki. (2009). La conception des ponts courants en BA et BP. In *Conception et construction des ponts*, 1:2–113.
- Samy Lebelle. (2007)(a). L'essentiel du béton armé selon le BAEL 91 additif 99. UTER-ISM (2iE). Vol. 1. 3 vols.
- Samy Lebelle. (2007)(b). L'essentiel du béton armé selon le BAEL 91 additif 99. UTER-ISM (2iE). Vol. 2. 3 vols.
- Samy Lebelle. (2007)(c). L'essentiel du béton armé selon le BAEL 91 additif 99. UTER-ISM (2iE). Vol. 3. 3 vols.
- Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements. (1994).
Aménagement Des Routes Principales (sauf Les Autoroutes Et Routes Expresses à Deux Chaussées). SETRA.
- Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements. Guide Technique
Conception Et Dimensionnement Des Structures Des Chaussées. SETRA.

ANNEXES

Sommaire des annexes

Annexe I : Dimensionnement hydraulique du dalot.....	57
Annexe II : Calcul des charges, surcharges et sollicitations du dalot.....	60
II.1 Principe de calcul des sollicitations	60
II.2 Charges permanentes	61
II.3 Charges d'exploitation.....	62
II.4 Calcul des efforts et sollicitations	65
II.5 Evaluation de la surcharge routière.....	68
Annexe III : Calcul du Béton Armé.....	73
III.1 Pré-dimensionnement	81
III.2 Calculs du beton armé.....	86
III.3 Armature du rideau	87
III.4 Armature du talon	88
III.5 Armature du patin	89
Annexe IV : Tableau des paramètres fondamentaux des projets routiers	91
Annexe V: Devis estimatif du projet	96
Annexe VI : Plans d'exécution.....	Erreur ! Signet non défini.

Annexe I : Dimensionnement hydraulique du dalot

Pour le dimensionnement de l'ouvrage de franchissement nous avons utilisé le débit cinquantennal (Q50) qui est de 82 m³/s. ce débit nous amène à orienter notre choix sur un dalot cadre. Pour la détermination des dimensions B, D et le nombre d'ouverture du dalot nous avons effectués une itération en utilisant les formules suivantes :

$$\text{Etape 1 : } Q^* = \frac{Q}{A \sqrt{2gD}}, \quad H^* = \frac{H}{D}$$

Avec : Q* = le débit réduit

Q = le débit de projet (m³/s)

A = la section du dalot (m²)

g = l'accélération

D = la hauteur du dalot

H* = la hauteur réduite

H = la hauteur d'eau en amont

$$\text{Etape 2 : } Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gB^5}}, \quad I_{\text{crit}}^* = \frac{I_{\text{crit}} \times K^2 \times B^{1/3}}{g}$$

Avec : I_{crit}* = la pente réduite

I_{crit} = la pente critique

B = la largeur du dalot

K = le coefficient de rugosité

$$\text{Etape 3 : } Q^* = \frac{Q}{K \times I_{\text{crit}}^{1/2} \times B^{8/3}}, \quad V^* = \frac{V}{K \times I_{\text{crit}}^{1/2} \times B^{2/3}}$$

Avec : V* = la vitesse réduite

V = la vitesse de sortie

Pour l'application de ses différentes formules certaines valeurs telles que Q^* , H^* , I_{crit}^* et V^* ont été lues sur les figures suivantes :

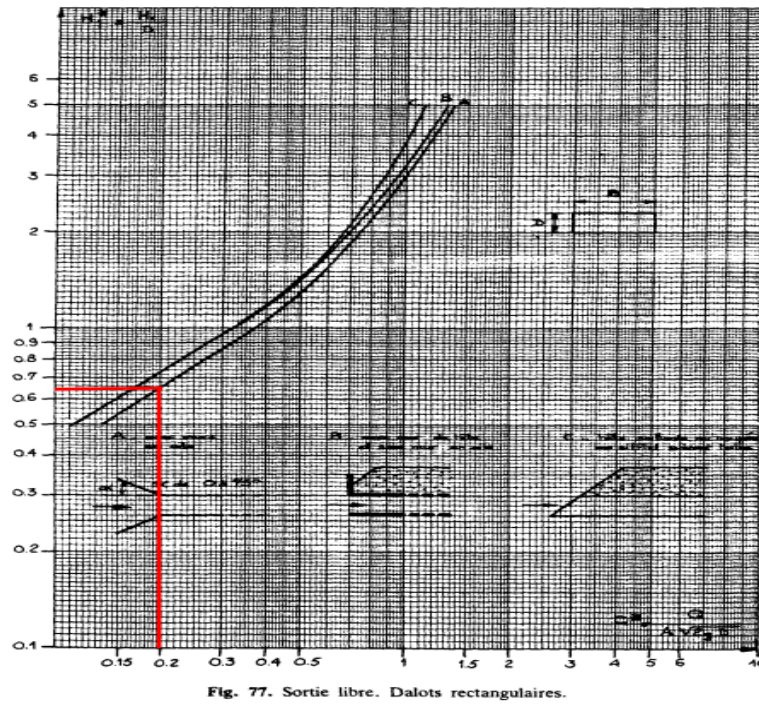


Figure 1 : Dalots fonctionnant à sortie libre : Calcul de la profondeur d'eau

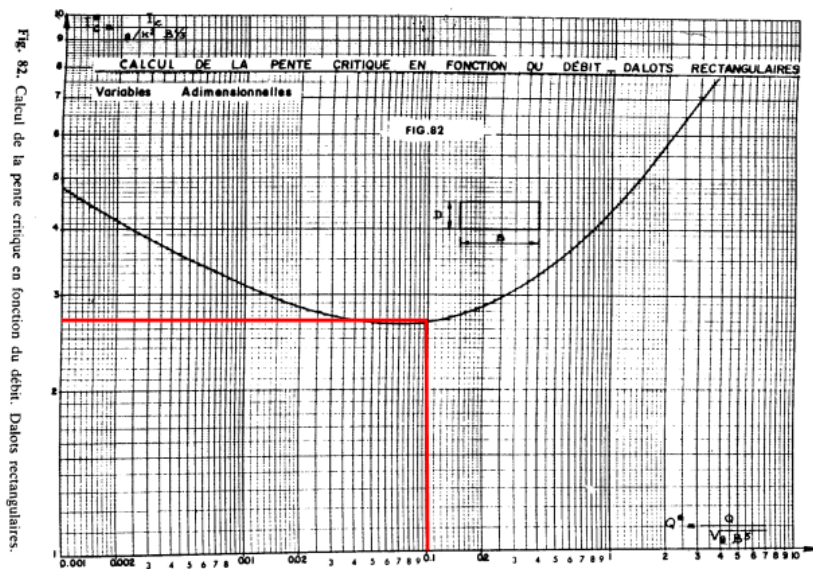


Figure 2 : Dalots fonctionnant à sortie libre : Calcul de la pente critique

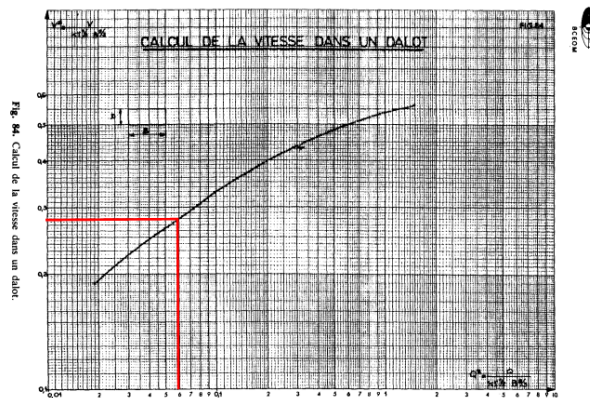


Figure 3 : Dalots fonctionnant à sortie libre : Calcul de vitesse à la sortie

Tableau I : Calcul hydraulique effectué sur Excel

nombre d'ouverture	8	
débit de projet (Q (m ³ /s))	82	
débit unitaire q (m ³ /s)	10,25	
vitesse admissible (m/s)	3	
section (A)	8	
hauteur D (m)	2	
largeur B (m)	4	
débit réduit (Q*)	0,20464015	
g (m/s ²)	9,8	
hauteur réduite (H*) lect abaq	0,64	
profondeur d'eau en amont H	1,28	ETAPE 1
débit réduit 2	0,102320075	
K	67	
pente critique Icrit* (abaq)	2,68	
pente critique Icrit	0,003685739	ETAPE 2
vitesse de sortie V		
débit réduit	0,062501933	
vitesse lu	0,28	
vitesse de sortie	2,869911218	ETAPE 3

Annexe II : Calcul des charges, surcharges et sollicitations du dalot

II.1 Principe de calcul des sollicitations

Le dalot étant à ouvertures multiples, les valeurs des sollicitations du moment fléchissant M et de l'effort normal N seront déterminées par **l'équation des trois moments**. De manière générale, nous avons effectués les calculs par bande de 1,00 mètre linéaire de largeur de dalot.

❖ Données diverses

Largeur nette de passage de l'eau $L = 4,00$ m ;

Hauteur nette d'ouverture $H = 2,00$ m ;

Largeur roulable : $L_r = 9$ m

Largeur chargeable : $L_c = 7$ m

Largeur des trottoirs : $l_t = 1 \times 2$.

Nombre de voies : $n = L_c/3 = 2$

Guide roue en béton armé de section rectangulaire de dimensions $0,25 \times 0,5$

Classe du pont : pont de première classe car $L_r \geq 7,00$ m

Coefficient de majoration dynamique : $\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,20L} + \frac{0,6}{1+\frac{4G}{Q}}$

❖ Remblais sur le dalot

Hauteur du remblai sur le tablier = $0,5$ m

Poids spécifique des terres $\gamma_d = 20$ KN/m³

Coefficient de poussée des terres $k = 0,333$.

II.2 Charges permanentes

❖ Charges permanentes sur le tablier

Formule utilisée : $\gamma \times e \times b$ avec :

γ = poids volumique du béton armé (25kN/m³) ;

e = épaisseur du tablier (m);

b = 1 ml car les calculs sont effectués par bande de 1 ml de dalot.

A l'issue de la formule ci-dessus on obtient :

Poids propre du tablier : $25 \times 0,3 \times 1 = 7,5 \text{ kN/ml}$

Poids du remblai : $20 \times 0,50 \times 1 = 10 \text{ kN/ml}$

Poids propre des guides roues : $g = 25 \times 0,5 \times 0,25 \times 1 \times 2 = 6,25 \text{ kN/ml}$;

La somme des actions permanentes sur le tablier :

$$g = 7,5 + 10 + 6,25 = 23,75 \text{ kN/ml}$$

❖ Charges permanentes sur le radier

Poids propre du radier : $25 \times 0,3 \times 1 = 7,5 \text{ kN/ml}$

Poids propre du tablier : $25 \times 0,3 \times 1 = 7,5 \text{ kN/ml}$

Poids du remblai : $20 \times 0,50 \times 1 = 10 \text{ kN/ml}$

Poids propre des piédroits : $25 \times 0,3 \times 2 \times 5/17,5 = 4,30 \text{ kN/ml}$

Poids propre des guides roues = 6,25 kN/ml

$$\text{D'où } g = 35,6 \text{ kN/ml}$$

II.3 Charges d'exploitation

Les charges d'exploitations à considérer ici sont celles liées à la circulation des véhicules sur les ouvrages.

❖ Au niveau du tablier

➤ **Système A**

Coefficient $a_1 = 0,9$

Coefficient $a_2 = V_0/V = 3,5/3 = 1,17$

D'où $A_1 = a_1 * a_2 * (2,3 + (360/4,3 + 12)) = 25,70 \text{ kN/ml}$

➤ **Système de charge B**

Les charges de type B sont des charges routières. Le système de charge B comprend 3 sous-systèmes distinctes dont il y'a lieu d'examiner indépendamment les effets pour chaque élément du pont :

✚ **Système Bc**

On peut disposer sur le tablier 2 x 2 essieux de 12 tonnes côte à côte, soit 480 kN.

Le coefficient $bc = 1,10$ car ouvrage de première classe à deux voies ;

La charge répartie est de : $q_1 = \frac{p \times bc}{l \times \text{Encombrement}} = \frac{480 \times 1,10}{4,3 \times 5} = 24,55 \text{ kN/m}^2$

Le coefficient de majoration : $\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+\frac{4G}{Q}} =$

$$G = 23,75 \times 4,3 = 102,12 \text{ kN}$$

$$Q = 480 \text{ kN}$$

$$\delta = 1,54$$

D'où une charge uniformément répartie

$$q = 24,55 \times 1,54 \times 1 = 37,81 \text{ kN/ml.}$$

🚦 Système Bt

Le chargement le plus défavorable sur le tablier se fera en considérant une disposition 2 x 2 essieux (essieu de 16t) côte à côte sur le tablier, soit une charge totale de $4 \times 160 = 640 \text{ KN}$.

$$\text{La charge répartie est de } q_1 = \frac{P \times bt}{l \times \text{Encombrement}} = \frac{640 \times 1}{4,3 \times 6} = 24,81 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Le coefficient de majoration : } \delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+\frac{4G}{Q}}$$

$$G = 23,75 \times 4,3 = 102,12 \text{ kN}$$

$$Q = 640 \text{ kN}$$

$$\delta = 1,58$$

D'où une charge uniformément répartie

$$q = 24,81 \times 1,58 \times 1 = 39,20 \text{ kN/ml.}$$

🚦 Système Br

Il s'agit d'une roue isolée de 10 tonnes (100 KN) pour un impact de 0,3 x 0,6 m à la surface de la couche de roulement. Elle produit un effet nettement inférieur aux autres systèmes étudiés.

🚦 Système Mc120

$$\text{La charge répartie est de } q_1 = \frac{P \times bt}{l \times \text{Encombrement}} = \frac{1100 \times 1,1}{4,3 \times 17,3} = 16,30 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Le coefficient de majoration : } \delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+\frac{4G}{Q}} = 1,76$$

D'où une charge uniformément répartie

$$q = 16,30 \times 1,76 = 28,68 \text{ kN/ml}$$

Les résultats de nos calculs sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Récapitulatif du calcul des charges et surcharges du tablier

	Système A	Système Bc	Système Bt	Système Mc120
q_1 en kN/m^2	-	24,55	24,81	16,31
G en kN	-	23,75	23,75	23,75
Q en kN	-	480	640	1100
δ	-	1,54	1,58	1,76
q en kN/ml	25,70	37,81	39,20	28,68

Au niveau du radier

Le principe de calcul est le même que précédemment, la seule variante ici est le poids propre de la structure qui sera dans ce cas de : $G = 35,6 \times 4,3 = 153,10 \text{ kN}$

Tableau 2 : Récapitulatif du calcul des charges et surcharges du radier

	Système A	Système Bc	Système Bt	Système Mc120
q_1 en kN/m^2	-	24,55	24,81	16,30
G en kN	-	153,10	153,10	153,10
Q en kN	-	480	640	1100
δ	-	1,48	1,52	1,60
q en kN/ml	25,70	36,33	37,71	26,10

Calcul de la force de freinage

Seules les charges des systèmes A et Bc sont susceptibles de développer des réactions de freinage. Pour le système Bc, un seul camion au maximum peut freiner sur le pont et l'effort horizontal correspondant à prendre en compte est son poids propre soit une force horizontale.

$$F_h = 4 \times 60 = 240, \text{ L'encombrement} = 2,5 \text{ m}$$

$$F = F_h/l = 240/2,5 = \mathbf{96 \text{ kN/ml.}}$$

Choix : la charge du système **Bt** est la plus défavorable. Car le système **Bt** développe une surcharge beaucoup plus élevée que les autres systèmes.

II.4 Calcul des efforts et sollicitations

Les efforts et sollicitations dus aux charges permanentes sont déterminés en appliquant le théorème des trois moments selon lequel : $M_{i-1}L_i + 2M_i(L_i + L_{i+1}) + M_{i+1}L_{i+1} = 6EI(\theta_{0i+1}' - \theta_{0i}'')$

Avec M : moment ;

i : numéro de travée

E : module de Young du matériau

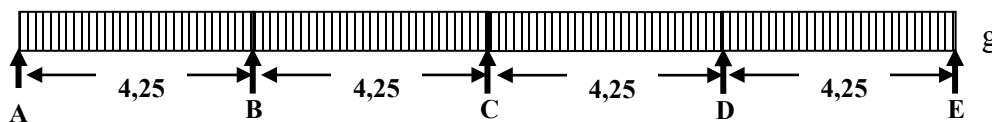
I : moment d'inertie de la section de la poutre.

θ_{0i}' : Angle de rotation gauche de l'appui i

θ_{0i}'' : Angle de rotation droit de l'appui i

Les efforts et sollicitations dus aux surcharges routières sont déterminés à partir de la méthode des lignes d'influence consistant à déplacer la charge sur les travées de manière à produire l'effet défavorable.

Sous charges permanentes



Sur le tablier

$$g = 23,75 \text{ kN/ml}$$

- Calcul des moments d'appuis

$$\mathbf{M_A = M_E = 0 \text{ kN. m}}$$

$$M_B = M_D = -\frac{48}{448}g.l^2 = -0,107.g.l^2 = -0,107 \times 23,75 \times 4,3^2 = -47 \text{ kN. m}$$

$$\mathbf{M_B = M_D = -47 \text{ kN. m}}$$

$$M_C = -\frac{1}{14}g.l^2 = -0,071.g.l^2 = -0,071 \times 23,75 \times 4,3^2 = -31,2 \text{ kN. m,}$$

$$\mathbf{M_C = -31,2 \text{ kN. m}}$$

- Calcul des réactions d'appuis

$$R_A = R_E = 0,393.g.l = 0,393 \times 23,75 \times 4,3 = 40,13 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_A = R_E = 40,13 \text{ kN}}$$

$$R_B = R_D = 1,143.g.l = 1,143 \times 23,75 \times 4,3 = 116,7 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_B = R_D = 116,7 \text{ kN}}$$

$$R_C = 0,928.g.l = 0,928 \times 23,75 \times 4,3 = 94,7 \text{ kN, } \mathbf{R_C = 94,7 \text{ kN}}$$

- Détermination des moments à mi- travée

$$M_{(A,B)} = M_{(D,E)} = 0,078.g.l^2 = 0,078 \times 23,75 \times 4,3^2 = 34,25 \text{ kN. m}$$

$$\mathbf{M_{(A,B)} = M_{(D,E)} = 34,25 \text{ kN. m}}$$

$$M_{(B,C)} = M_{(C,D)} = 0,036.g.l^2 = 0,036 \times 23,75 \times 4,3^2 = 15,80 \text{ kN. m}$$

$$\mathbf{M_{(C,D)} = M_{(B,C)} = 15,80 \text{ kN. m}}$$

Sur le radier

$$\mathbf{g = 35,6 \text{ kN/ml}}$$

- Calcul des moments d'appuis

$$\mathbf{M_A = M_E = 0 \text{ kN.m}}$$

$$M_B = M_D = -0,107.g.l^2 = -0,107 \times 35,6 \times 4,3^2 = -70,43 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_B = M_D = -70,43 \text{ kN.m}}$$

$$M_C = -0,071.g.l^2 = -0,071 \times 35,6 \times 4,3^2 = -46,73 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_C = -46,73 \text{ kN.m}}$$

- Calcul des réactions d'appuis

$$R_A = R_E = 0,393.g.l = 0,393 \times 35,6 \times 4,3 = 60,16 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_A = R_E = 60,16 \text{ kN}}$$

$$R_B = R_D = 1,143.g.l = 1,143 \times 35,6 \times 4,3 = 174,97 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_B = R_D = 174,97 \text{ kN}}$$

$$R_C = 0,928.g.l = 0,928 \times 35,6 \times 4,3 = 142,05 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_C = 142,05 \text{ kN}}$$

- Détermination des moments à mi-travée

$$M_{(A,B)} = M_{(D,E)} = 0,078.g.l^2 = 0,078 \times 35,6 \times 4,3^2 = 51,34 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_{(A,B)} = M_{(D,E)} = 51,34 \text{ kN.m}}$$

$$M_{(C,D)} = M_{(B,C)} = 0,036.g.l^2 = 0,036 \times 35,6 \times 4,3^2 = 23,70 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_{(B,C)} = M_{(C,D)} = 23,70 \text{ kN.m}}$$

II.5 Evaluation de la surcharge routière

Au niveau du tablier

$$q = 39,20 \text{ kN/ml}$$

- Calcul des moments d'appuis

$$M_A = M_E = 0 \text{ kN.m}$$

$$M_B = M_D = -0,107 \cdot q \cdot l^2 = -0,107 \times 39,20 \times 4,3^2 = -77,55 \text{ kN.m}$$

$$M_B = M_D = -77,55 \text{ kN.m}$$

$$M_C = -0,071q \cdot l^2 = -0,071 \times 39,20 \times 4,3^2 = -51,46 \text{ kN.m}$$

$$M_C = -51,46 \text{ kN.m}$$

- Calcul des réactions d'appuis

$$R_A = R_E = 0,393 \cdot q \cdot l = 0,393 \times 39,20 \times 4,3 = 66,24 \text{ kN}$$

$$R_A = R_E = 66,24 \text{ kN}$$

$$R_B = R_D = 1,143 \cdot q \cdot l = 1,143 \times 39,20 \times 4,3 = 192,66 \text{ kN}$$

$$R_B = R_D = 192,66 \text{ kN}$$

$$R_C = 0,928 \cdot q \cdot l = 0,928 \times 39,20 \times 4,3 = 156,42 \text{ kN}$$

$$R_C = 156,42 \text{ kN}$$

- Détermination des moments à mi-travée

$$M_{(A,B)} = M_{(D,E)} = 0,0714 \cdot q \cdot l^2 = 0,0714 \times 39,20 \times 4,3^2 = 51,75 \text{ kN.m}$$

$$M_{(A,B)} = M_{(D,E)} = 51,75 \text{ kN.m}$$

$$M_{(C,D)} = M_{(B,C)} = 0,0357 \cdot q \cdot l^2 = 0,036 \times 39,20 \times 4,3^2 = 26,10 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_{(B,C)} = M_{(C,D)} = 26,10 \text{ kN.m}}$$

Au niveau du radier

$$\mathbf{q = 37,71 \text{ kN/ml}}$$

- Calcul des moments d'appuis

$$\mathbf{M_A = M_E = 0 \text{ kN.m}}$$

$$M_B = M_D = -0,107 \cdot q \cdot l^2 = -0,107 \times 37,71 \times 4,3^2 = -74,61 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_B = M_D = -74,61 \text{ kN.m}}$$

$$M_C = -0,071q \cdot l^2 = -0,071 \times 37,71 \times 4,3^2 = -49,51 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_C = -49,51 \text{ kN.m}}$$

- Calcul des réactions d'appuis

$$R_A = R_E = 0,393 \cdot q \cdot l = 0,393 \times 37,71 \times 4,3 = 63,73 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_A = R_E = 63,73 \text{ kN}}$$

$$R_B = R_D = 1,143 \cdot q \cdot l = 1,143 \times 37,71 \times 4,3 = 185,34 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_B = R_D = 185,34 \text{ kN}}$$

$$R_C = 0,928 \cdot q \cdot l = 0,928 \times 37,71 \times 4,3 = 150,47 \text{ kN}$$

$$\mathbf{R_C = 150,47 \text{ kN}}$$

- Détermination des moments à mi-travée

$$M_{(A,B)} = M_{(D,E)} = 0,0714 \cdot q \cdot l^2 = 0,0714 \times 37,71 \times 4,3^2 = 49,78 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_{(A,B)} = M_{(D,E)} = 49,78 \text{ kN.m}}$$

$$M_{(C,D)} = M_{(B,C)} = 0,0357 \cdot q \cdot l^2 = 0,036 \times 37,71 \times 4,3^2 = 25,10 \text{ kN.m}$$

$$\mathbf{M_{(B,C)} = M_{(C,D)} = 25,10 \text{ kN.m}}$$

- Au niveau des piédroits intermédiaires B et D

Sous charges permanentes

$$\text{Réaction d'appui du radier } N = \mathbf{R_B = R_D = 174,97 \text{ kN}}$$

Sous surcharges routières

$$\text{Réaction d'appui du tablier } N = \mathbf{R_B = R_D = 192,66 \text{ kN}}$$

- Sur le piédroit central C

Sous charges permanentes

$$\text{Réaction d'appui du radier } N = \mathbf{R_C = 142,05 \text{ kN}}$$

Sous charges d'exploitations

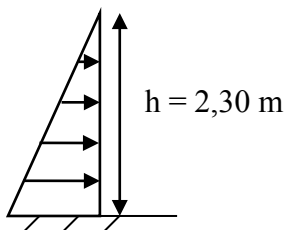
$$\text{Réaction d'appui du tablier } N = \mathbf{R_C = 156,42 \text{ kN}}$$

- Sur les piédroits externes A et E

Sous charges permanentes

$$\text{L'effort normal du radier est } N = \mathbf{R_A = R_E = 60,16 \text{ kN}}$$

- Moment dû à la poussée des terres



$$M = \gamma \cdot h^3 \cdot \frac{K}{6} = 20 \times 2,30^3 \times \frac{0,333}{6} = 13,50 \text{ kN.m/ml}$$

Sous charges d'exploitation

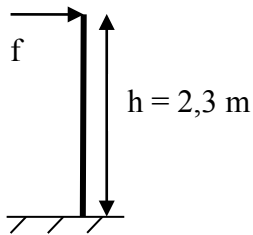
Réaction d'appui du tablier $N = R_A = R_E = 66,24 \text{ kN}$

- **Moment dû à la force de freinage**

En considérant 2 x 2 essieux de 12t placé simultanément côte à côte sur le dalot, leur force de freinage est : $F = 120 \times 4 = 480 \text{ kN}$

On répartit l'effort $F = 96 \text{ kN}$ sur les deux (02) piliers extérieurs d'où $f = 48 \text{ kN}$.

Le moment sera :



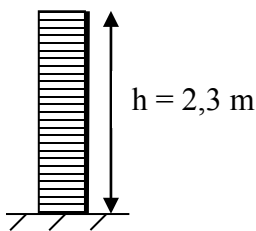
$$M = f \cdot h = 48 \times 2,3 = 110,40 \text{ kN.m/ml}$$

- **Moment dû à la surcharge routière de remblai**

Cette surcharge est de 10 kN/m^2

La contrainte horizontale :

$$\sigma = K \cdot q = 0,333 \times 10 = 3,33 \text{ KN.m}^2$$



$$M = \sigma \cdot \frac{h^2}{2} = 3,33 \times \frac{2,3^2}{2} = 8,80 \text{ kN.m/ml}$$

Tableau 4 : Récapitulatif des calculs des sollicitations

	Charges permanentes (G)		Charges d'exploitations (Q)						Piédroits						Sollicitations					
	Tablier	Radier	Système A		Système Bc		Système Bt		Piédroits internes B et D		Piédroit central C		Piédroits externes A et E		ELU (1,35G + 1,61Q)			ELS (G + 1,2Q)		
			Tablier	Radier	Tablier	Radier	Tablier	Radier	G	Q	G	Q	G	Q	Tablier	Radier	Piédroit	Tablier	Radier	Piédroit
MA	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	13,5	119,2	0	0	210,137	0	0	156,54
M(A-B)	34,25	51,34	33,22	33,22	50	48,41	51,75	49,78	-	-	-	-	-	-	129,56	149,45		96,35	111,08	
MB	-47	-70,43	-49,8	-49,8	-75,01	-72,61	-77,55	-74,6	-	-	-	-	-	-	188,31	215,2		140,06	159,96	
M(B-C)	15,8	23,7	16,61	16,61	25	24,2	26,1	25,1	-	-	-	-	-	-	63,351	72,406		47,12	53,82	
MC	-31,2	-46,73	-33,2	-33,2	-50	-48,41	-51,46	-50,2	-	-	-	-	-	-	124,97	143,91		92,952	106,97	
M(C-D)	15,8	23,7	16,61	16,61	25	24,2	26,1	25,1	-	-	-	-	-	-	63,351	72,406		47,12	53,82	
MD	-47	-70,43	-49,8	-49,8	-75,01	-72,61	-77,55	-74,6	-	-	-	-	-	-	188,31	215,2		140,06	159,96	
M(D-E)	34,25	51,34	33,22	33,22	50	48,41	51,75	49,78	-	-	-	-	-	-	129,56	149,45		96,35	111,08	
ME	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	13,5	119,2	0	0	210,137	0	0	156,54
RA	40,13	60,16	42,99	42,99	64,72	62,65	66,24	63,73	-	-	-	-	60,16	66,24	160,82	183,82	187,862	119,62	136,64	139,648
RB	116,7	174,97	125,1	125,1	188,3	182,24	192,66	185,3	175	192,7	-		-	-	467,73	534,61	546,392	347,89	397,38	406,162
RC	94,7	142,05	101,6	101,6	153	148,1	156,42	150,5	-	-	142,1	156	-	-	379,68	434,02	443,604	282,4	322,61	329,754
RD	116,7	174,97	125,1	125,1	188,3	182,24	192,66	185,7	175	192,7	-	-	-	-	467,73	535,23	546,392	347,89	397,85	406,162
RE	40,13	60,16	42,99	42,99	64,72	62,65	66,24	63,73	-	-	-	-	60,16	66,24	160,82	183,82	187,862	119,62	135,34	

Choix : la charge du système **Bt** est la plus défavorable. Car le système **Bt** développe une surcharge beaucoup plus élevée que les autres systèmes donc notre choix s'est porté sur le système Bt

Annexe III : Calcul du Béton Armé

Hypothèse de base

Reglements et instructions

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

- **Acier**

Nuance : Acier à Haute Adhérence Fe E 400

Limite d'élasticité Fe = 400 Mpa

Contrainte de calcul de l'acier : $\sigma_s = F_e / \gamma_s = 400 / 1,15 = 347,826$ Mpa avec $\gamma_s = 1,15$.

- **Béton**

Poids volumique = 25 KN/m³ (béton armé)

Fissuration peu préjudiciable (FPP)

Résistance nominale à 28 j

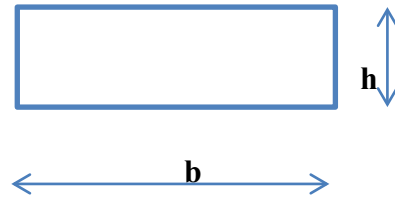
A la compression $F_{c28} = 25$ Mpa

A la traction $F_{t28} = 0,6 + 0,06 * F_{c28} = 2,1$ Mpa

Contrainte de calcul : $\sigma_{bc} = 0,85 * F_{c28} / \gamma_b = 0,85 * 25 / 1,5 = 14,16$ Mpa avec $\gamma_b = 1,5$.

Calcul des armatures du tablier

pour la détermination des sections d'armatures nous avons considérés une section rectangulaire :



Données de calcul : $b = 1,00 \text{ m}$ $h = 0,3 \text{ cm}$ $d = 0,27 \text{ cm}$ $F_{c28} = 25 \text{ Mpa}$ $F_e = 400 \text{ Mpa}$.

$$\sigma_s = 347,826 \text{ Mpa} \quad \sigma_{bc} = 14,16 \text{ Mpa} \quad F_{t28} = 14,16 \text{ Mpa}$$

a. A mi – travée A-B et D-E (lit inférieur)

❖ Calcul à l'Etat Limite Ultime

$$M_g = 0,034 \text{ MN.m}$$

$$M_q = 0,0517 \text{ MN.m}$$

$$M_u = 1,35 M_g + 1,61 M_q = 1,35 \times 0,034 + 1,61 \times 0,0517 = 0,129 \text{ MN.m}$$

$$\mathbf{M_u = 0,129 \text{ MN.m}}$$

$$\mu = \frac{M_u}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{0,129}{1 \times 0,27^2 \times 14,16} = 0,133 \quad , \quad \mu = \mathbf{0,133}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,133}) = 0,179 \quad , \quad \alpha = \mathbf{0,179}$$

$$\beta = 1 - 0,4 \times \alpha = 1 - 0,4 \times 0,179 = 0,928 \quad , \quad \beta = \mathbf{0,928}$$

$$= 14,81 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{A_u = 14,81 \text{ cm}^2}$$

$$A_U = \frac{M_u}{\beta \times d \times \sigma_s} \quad A_U = \frac{0,129}{0,954 \times 0,27 \times 347,826}$$

❖ Calcul à l'Etat Limite de Service

$$M_s = M_g + 1,2 M_q = 0,034 + 1,2 \times 0,0517 = 0,096 \text{ MN.m}$$

$$M_s = 0,096 \text{ MN.m}$$

$$\mu = \frac{M_s}{b \times d^2 \times \sigma_s} = \frac{0,096}{1 \times 0,27^2 \times 347,826} = 0,0037 \quad , \quad \mu = 0,0037$$

$$\lambda = 1 + 30 \times \mu = 1 + 30 \times 0,0037 = 1,11 \quad , \quad \lambda = 1,11$$

$$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2}) = \text{Arcos}(1,11^{-3/2}) = 0,55 \quad , \quad \varphi = 0,55$$

$$\alpha = 1 + 2\sqrt{\lambda} \cos(240 + \frac{\varphi}{3}) = 1 + 2\sqrt{1,11} * \cos(240 + 0,55/3) = 0,29 \quad ,$$

$$\alpha = 0,29$$

$$\beta = 1 - \frac{\alpha}{3} = 1 - \frac{0,29}{3} = 0,9 \quad , \quad \beta = 0,9$$

$$A_s = \frac{M_s}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{0,096}{0,9 \times 0,27 \times 347,826} = 11,34 \text{ cm}^2 \quad , \quad A_s = 11,34 \text{ cm}^2$$

❖ Condition de non fragilité de la section

$$A_{smin} \geq 0,23 b_0 d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 1 \times 0,27 \times \frac{2,1}{400} = 3,26 \text{ cm}^2 \quad , \quad A_{smin} = 3,26 \text{ cm}^2$$

❖ Choix de la section

$$A = \text{Max} (A_u , A_s , A_{smin}) = \text{Max} (14,81 , 11,34 , 3,26) = 14,81 \text{ cm}^2. \text{ Nous retenons :}$$

Au = 14,81 cm² Soit 8HA16 (14,81 cm²) , esp = 12,5 cm

Le principe de calcul est le même pour le radier d'où le resultat récapitulatif du calcul dans les tableaux suivants :

Tablier					
		Travées		Appuis	
		AB - DE	BC - CD	B - D	C
DONNEES	Mg en MN.m	0,034	0,016	0,047	0,031
	Mq en MN.m	0,052	0,026	0,077	0,051
	Géometrie	h en m 0,3	b en m 1	d en m 0,27	
Calcul des armatures en flexion simple					
A L' ELU	Mu en MN.m	0,129	0,063	0,187	0,125
$\mu = \frac{M_U}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}}$		0,133	0,065	0,194	0,129
$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu})$		0,180	0,084	0,271	0,173
$\beta = 1 - 0,4 \times \alpha$		0,928	0,966	0,891	0,931
$A_U = \frac{M_U}{\beta \times d \times f_e / \gamma_s}$		14,815	6,964	22,387	14,287
A L' ELS	Ms en MN.m	0,096	0,047	0,14	0,093
$\mu = \frac{M_S}{b \times d^2 \times \sigma_c}$		0,004	0,002	0,006	0,004
$\lambda = 1 + 30 \times \mu$		1,114	1,056	1,166	1,110
$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2})$		0,553	0,397	0,652	0,545
$\alpha = 1 + 2\sqrt{\lambda} \cos(240 + \frac{\varphi}{3})$		0,298	0,217	0,349	0,294
$\beta = 1 - \frac{\alpha}{3}$		0,901	0,928	0,884	0,902
$A_S = \frac{M_S}{\beta \times d \times \sigma_s}$		11,348	5,394	16,872	10,977
$A_{smin} \geq 0,23 \text{ box } d \times \frac{ft28}{f_e}$		3,260	3,260	3,260	3,260
Choix de la section		14,815	6,964	22,387	14,287

Choix des aciers	8HA16	6HA14	8HA20	5HA20
Section réelle	16,08	9,24	25,13	15,75

Radier					
		Travées		Appuis	
		AB - DE	BC - CD	B - D	C
DONNEES	Mg en MN.m	0,051	0,024	0,070	0,047
	Mq en MN.m	0,049	0,025	0,075	0,050
	Géométrie	h en m 0,3	b en m 1	d en m 0,27	
Calcul des armatures en flexion simple					
A L' ELU	Mu en MN.m	0,148	0,072	0,215	0,143
	$\mu = \frac{M_U}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}}$	0,153	0,075	0,222	0,147
	$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu})$	0,209	0,097	0,318	0,200
	$\beta = 1 - 0,4 \times \alpha$	0,917	0,961	0,873	0,920
	$A_U = \frac{M_U}{\beta \times d \times f_{e}/\gamma_s}$	17,211	8,022	26,251	16,523
A L' ELS	Ms en MN.m	0,110	0,054	0,160	0,106
	$\mu = \frac{M_S}{b \times d^2 \times \sigma_s}$	0,004	0,002	0,006	0,004
	$\lambda = 1 + 30 \times \mu$	1,130	1,064	1,189	1,126
	$\varphi = \text{Arcos}(\lambda^{-3/2})$	0,588	0,424	0,690	0,578
	$\alpha = 1 + 2\sqrt{\lambda} \cos(240 + \frac{\varphi}{3})$	0,316	0,230	0,369	0,311
	$\beta = 1 - \frac{\alpha}{3}$	0,895	0,923	0,877	0,896
	$A_s = \frac{M_s}{\beta \times d \times \sigma_s}$	13,102	6,208	19,417	12,603
	$As_{min} \geq 0,23b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$	3,260	3,260	3,260	3,260
	Choix de la section	17,211	8,022	26,251	16,523
	Choix des aciers	6HA20	4HA16	9HA20	6HA20
	Section réelle	18,85	8,04	28,27	18,85

Calcul des armatures des piédroits

➤ Piédroits externes (A et E)

Pour le calcul des armatures, nous avons considéré les piédroits au mètre linéaire comme des poteaux de 100 x 25. Le calcul des poteaux étant toujours conduit à l'état limite ultime (ELU) alors la combinaison d'action considérée sera :

$$M_u = 1,35 M_g + 1,61 M_q \quad \text{et} \quad N_u = 1,35 N_g + 1,61 N_q$$

$$M_g = 0,014 \text{ MN.m} , \quad M_q = 0,119 \text{ MN.m} , \quad N_g = 0,06 \text{ MN} , \quad N_q = 0,066 \text{ MN}$$

A l'issue de ces formules on obtient :

$$\mathbf{M_u = 0,210 \text{ MN.m} \quad \text{et} \quad N_u = 0,187 \text{ MN.}}$$

$$\mathbf{M_s = 0,156 \text{ MN.m} \quad \text{et} \quad N_s = 0,139 \text{ MN}}$$

Excentricité $e = M_u/N_u = 1,19 > 4h$ d'où le calcul sera conduit en flexion simple

Le moment par rapport aux aciers tendus :
$$M = M_u + N_u \left[d - \frac{h}{2} \right] = 0,210 + 0,187 \left[0,27 - \frac{0,3}{2} \right]$$

$$\mathbf{M = 0,232 \text{ MN.m (ELU)} , \quad M = 0,173 \text{ MN.m (ELS)}$$

Le principe de calcul est le même que pour le tablier et le radier.

❖ Calcul à l'état limite ultime

$$\mathbf{M = 0,210 \text{ MN.m}}$$

$$A_u = \frac{M}{\beta \times d \times \sigma_s} , \quad \mathbf{A_u = 28,4 \text{ cm}^2}$$

❖ Calcul à l'état limite de service

$$A_s = \frac{M}{\beta \times d \times \sigma_s} , \quad \mathbf{A_s = 21,10 \text{ cm}^2}$$

❖ **Condition de non fragilité**

$$A_{smin} \geq 0,23 b_0 d \times \frac{f_{t28}}{f_e}, \quad \boxed{A_{smin} = 3,26 \text{ cm}^2}$$

❖ **Choix de la section**

$A = \text{Max} (A_u , A_s, A_{smin}) = \text{Max} (28,4 ; 21,10 ; 3,26) = 28,4 \text{ cm}^2$. Nous retenons :

$A_u = 28,4 \text{ cm}^2$

Soit 10HA20 (31,42 cm²)

➤ **Piedroits intermédiaires (B - D et C)**

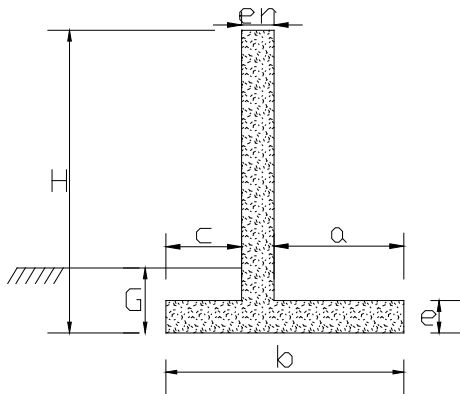
Le calcul des piedroits intermédiaires est conduit à l'état limite ultime (ELU) et le principe de calcul est toujours le même que pour le tablier et le radier d'où un tableau récapitulatif du calcul des armatures :

Piedroits intermédiaires				
		appuis		
		B - D		
	Ng en MN	0,175		
	Nq en MN.m	0,193		
	Géométrie	a en m	b en m	d en m
		0,3	1	0,27
A L'ELU	Nu en MN	0,546		
$B_r = (a - 0,02)(b - 0,02)$		0,274		
$\lambda = \sqrt{12} \times \frac{l_f}{a}$		16,166		
$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$		0,815		
$A_u = \frac{\gamma_s}{f_e} \left(\frac{Nu}{\alpha} - \frac{B_r \times f_{cj}}{1,35} \right)$		-126,826		
$A_{smin} = \text{Max} (8 (a + b); 20. a \times b)$		10,4		
Choix des aciers longitudinaux		8HA14		
Section réelle (cm ²)		12,32		

Piédroit central			
		appuis	
		c	
	Ng en MN	0,142	
	Nq en MN.m	0,156	
	Géométrie	a en m	b en m
		0,3	1
		d en m	0,27
A L'ELU	Nu en MN	0,443	
	$B_r = (a - 0,02)(b - 0,02)$	0,274	
	$\lambda = \sqrt{12 \times \frac{l_f}{a}}$	16,166	
	$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$	0,815	
	$As = \frac{\gamma_s}{f_e} \left(\frac{Nu}{\alpha} - \frac{B_r \cdot X_{fcj}}{1,35} \right)$	-130,474	
	$As_{min} = \text{Max} (8 (a + b); 20. a \cdot b)$	10,4	
	Choix des aciers longitudinaux	8HA14	
	Section réelle (cm ²)	12,32	

Annexe IV : Dimensionnement du Mur en aile

III.1 Pré-dimensionnement



H : la hauteur totale du dalot, b : la largeur de la semelle, e : l'épaisseur de la semelle, c : la longueur du patin, a : la longueur du talon, er : l'épaisseur du rideau

Soit $H = 2,5$ m

La largeur de la semelle : $b = (0,2 \text{ à } 0,45) * H$, $b = (0,2 \text{ à } 0,45) * 2,5 = (0,5 \text{ à } 1,125)$

Soit $b = 1,50$ m.

L'épaisseur de la semelle : $e = 0,08333 * H$, $e = 0,08333 * 2,5 = 0,208$ m

Soit $e = 0,3$ m.

La hauteur du rideau : $Hr = H - e$, $Hr = 2,5 - 0,3 = 2,2$ m

Soit $Hr = 2,20$ m.

L'épaisseur du rideau : $er = 0,08333 * H$, Soit $er = 0,30$ m.

La longueur du patin : $c = (0,125 \text{ à } 0,20) * H$, $c = (0,125 \text{ à } 0,2) * 2,5$, $c = (0,31 \text{ à } 0,5)$

Soit $c = 0,50$ m.

La longueur du talon : $a = b - c - er$, $a = 1,5 - 0,5 - 0,3 = 0,7$ m

Soit $a = 0,7$ m.

Calcul des sollicitations

- calcul de K, $\varphi = 35^\circ$

$$K_\gamma = K_q = tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$K_\gamma = K_q = tg^2 \left(45 - \frac{35^\circ}{2} \right) = 0,27$$

$$K_\gamma = K_q = 0,27$$

Soit $\varphi = 35^\circ$, $\gamma = 18 \text{KN/m}^3$

Calcul des contraintes verticales

$$\sigma_v = \gamma \times H$$

Pour $H = 0$ $\sigma_v = 0$

Pour $H = 2,2$ $\sigma_v = 39,6 \text{ KPa}$

Pour $H = 2,5$ $\sigma_v = 45 \text{ KPa}$

Calcul des poussées

$$\sigma_h = k \times \sigma_v \text{ avec } k = 0,27$$

Pour $H = 0$ $\sigma_h = 0$

Pour $H = 2,2$ $\sigma_h = 11 \text{ KPa}$

Pour $H = 2,5$ $\sigma_h = 12,15 \text{ KPa}$

Inventaire des actions agissant sur le mur en aile:

Charges verticales

- poids propre du rideau (voile) W_r

- poids propre de la semelle W_s
- poids propre du massif du sol W_{sol}
- charge d'exploitation W_q

Charges horizontales

- poussée du sol P_s
- charge d'exploitation P_q

Détermination des charges du mur en aile

charges verticales

- poids propre du rideau (voile) W_r

$$W_r = \gamma_b \times H_r \times e_r, W_r = 25 \times 2,2 \times 0,3 = \mathbf{16,5 \text{ KN/ml}}$$

- poids propre de la semelle W_s

$$W_s = \gamma_b \times b \times e, W_s = 25 \times 1,5 \times 0,3 = \mathbf{11,25 \text{ KN/ml}}$$

- poids propre du massif du sol W_{sol}

$$W_{sol} = \gamma \times H_r \times a, W_{sol} = 18 \times 2,2 \times 0,7 = \mathbf{27,72 \text{ KN/ml}}$$

- Charge d'exploitation W_q

$$W_q = q \times a, W_q = 10 \times 0,7 = \mathbf{7,00 \text{ KN/ml}}$$

Charges horizontales

- poussée du sol P_s

$$P_s = \sigma_h \times \frac{1}{2} \times H, P_s = 12,15 \times 1/2 \times 2,5 = \mathbf{15,18 \text{ KN/ml}}$$

- Charge d'exploitation P_q

$$P_q = q \times k \times H, P_q = 10 \times 0,27 \times 2,5 = \mathbf{6,75 \text{ KN/ml}}$$

Détermination des moments du aux différentes charges

Charges verticales

- moment du rideau (voile) M_{Wr}

$$M_{Wr} = Wr \times c \times \frac{1}{2} * er, M_{Wr} = 16,5 \times 0,5 \times \frac{1}{2} * 0,3 = \mathbf{1,3 \text{ KN.m/ml}}$$

- poids propre de la semelle M_{Ws}

$$M_{Ws} = Ws \times \frac{1}{2} * b, M_{Ws} = 11,25 \times \frac{1}{2} * 1,5 = \mathbf{8,44 \text{ KN.m/ml}}$$

- poids propre du massif du sol M_{Wsol}

$$M_{Wsol} = Wsol \times (b - \frac{1}{2} * a), M_{Wsol} = 27,72 \times (1,5 - \frac{1}{2} * 0,7) = \mathbf{31,88 \text{ KN.m/ml}}$$

- Charge d'exploitation M_{Wq}

$$M_{Wq} = Wq \times (b - \frac{1}{2} * a), M_{Wq} = 6,75 \times (1,5 - \frac{1}{2} * 0,7) = \mathbf{7,76 \text{ KN.m/ml}}$$

Charges horizontales

- moment du au poussée du sol M_{Ps}

$$M_{Ps} = Ps \times \frac{1}{3} * H, M_{Ps} = 15,18 \times \frac{1}{3} * 2,5 = \mathbf{12,65 \text{ KN.m/ml}}$$

- moment du au charge d'exploitation M_{Pq}

$$M_{Pq} = Pq \times \frac{1}{2} * H, M_{Pq} = 6,75 \times \frac{1}{2} * 2,5 = \mathbf{8,44 \text{ KN.m/ml}}$$

Verification du predimensionnement

- ❖ la portance (on suppose que le sol est en compression simple)

$$\sigma \leq q_d = 0,2 \text{ Mpa}$$

$$\text{Or } \sigma = F / S$$

Avec F = Somme totale des charges verticales

S = Section de la semelle

$$\sigma = F / S = 62,47 / 1,5 \times 1,00 = 41,65 \text{ kpa}$$

$$\sigma = 41,65 < 200 \text{ kpa}$$

❖ la stabilité au renversement

$$\frac{\sum M_{vertical}}{\sum M_{horizontal}} > 1$$

$$\frac{\sum M_{vertical}}{\sum M_{horizontal}} = \frac{49,38}{21,09} = 2,34$$

$$2,34 > 1$$

❖ la stabilité au glissement

$$\frac{R_h}{P_h} > 1,5$$

$$\text{Avec } R_h = \tan \varphi \times F = \tan 35 \times 62,47 = 43,74 \text{ KN}$$

Avec R_h = des charges horizontales dues aux charges verticales

P_h = somme totale des charges horizontales

$$\frac{R_h}{P_h} > 1,5 = \frac{43,74}{21,93} = 1,99 > 1,5$$

$$1,99 > 1,5$$

C/C: le predimensionnement du mur en aile est bon.

III.2 Calculs du béton armé

Calcul de la semelle

- l'effort normal Nu:

$$Nu = 1,35 \times (W_r + W_{sol}) + 1,5 \times W_q, Nu = 1,35 \times (16,5 + 27,72) + 1,5 \times 7 = 70,20 \text{ KN}$$

Soit Nu = 70,20 KN.

- Le moment Mu:

$$Mu = 1,35 \times (W_r \times e_1 + W_{sol} \times e_2 + P_s \times h_s) + 1,5 \times (W_q \times e_2 + P_q \times h_q)$$

$$\text{Avec } e_1 = b - a/3, \quad e_2 = b - a/2, \quad h_s = H/3, \quad h_q = H_r/3$$

$$Mu = 1,35 \times (16,5 + 1,26 + 27,72 \times 1,15 + 15,18 \times 0,83) + 1,5 \times (7 \times 1,15 + 6,75 \times 0,73) = 103,48$$

Soit Mu = 103,48 KN.m

La répartition des contraintes au sol sous la semelle n'est pas uniforme mais trapezoidale et sa résultante F est appliquée à une distance Xf:

$$\sigma_M = \frac{Nu}{b} + \frac{6XMu}{b^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Nu}{b} - \frac{6XMu}{b^2}$$

$$F = \frac{\sigma_M + \sigma_m}{2} \times b$$

$$x = \frac{\sigma_M + 2x\sigma_m}{\sigma_M + \sigma_m} \times \frac{b}{3}$$

En application numérique on obtient:

$$\sigma_M = 322,75 \text{ KN/m}^2, \quad \sigma_m = -229,15 \text{ KN/m}^2, \quad F = 70,20 \text{ KN/m}^2, \quad x = -0,72 \text{ KN/m}^2$$

La semelle sera considérée comme bien dimensionnée si la contrainte au $\frac{3}{4}$ de la largeur $\sigma_{3/4}$ est inférieure à la contrainte de calcul du sol qs.

$$\sigma_{3/4} = \frac{(3x\sigma_M + \sigma_m)}{4} \leq qs = 0,2 \text{ Mpa}, \sigma_{3/4} = 184,775 \text{ kpa} \leq 200 \text{ kpa}$$

III.3 Armature du rideau

$$M_u = 1,35 \times P_s \times (h_s - e) + 1,5 \times P_q \times (h_q - e)$$

$$N_u = 1,35 \times P_s + 1,5 \times P_q$$

Par application numérique on obtient:

$$M_u = 15,22 \text{ KN.m}$$

$$N_u = 30,62 \text{ KN.m}$$

Calcul des armatures principales

$$M_U = 15,22 \text{ kN.m/m}$$

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bu}}, \mu_{bu} = \frac{0,01522}{1 \times 0,27^2 \times 14,16} = 0,0147$$

$$\mu_{bu} = 0,0147 < 0,186 \rightarrow \text{pivot A}$$

$$\alpha_u = 1,25 (1 - \sqrt{(1 - 2\mu_{bu})}), \alpha_u = 1,25 (1 - \sqrt{(1 - 2 \times 0,0147)}) = 0,018$$

$$\alpha_u = 0,018$$

$$y_u = \alpha_u \cdot d, y_u = 0,018 \times 0,27 = 0,0048$$

$$y_u = 0,0048$$

$$Z_u = d - 0,4 \cdot y_u, Z_u = 0,27 - 0,4 \times 0,0048 = 0,268$$

$$Z_u = 0,268$$

$$A_u = \frac{M_u}{Z_u \cdot f_{su}}, A_u = \frac{0,01522}{0,268 \times 347,826} = 1,63 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_u = 1,63 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e}, A_{min} = 0,23 \times 1 \times 0,27 \times \frac{2,1}{400} = 3,26 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_{min} = 3,26 \times 10^{-4} m^2$$

$$\text{Choix } A_u = 3,26 \text{ cm}^2$$

Calcul des armatures de répartition

$$A_r \geq \text{Max} (A_u/4 ; 0,08 \cdot e)$$

$$A_r = 2,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix : 5HA8 (2,51 cm}^2)$$

III.4 Armature du talon

$$M_u = (1,35 \times W_{sol} + 1,5 W_q) \times a/2 - \sigma_m \times a^2/2 - (\sigma_M - \sigma_m) \times a^3/6xb$$

$$N_u = (1,35 \times W_{sol} + 1,5 W_q) - \sigma_m \times a - (\sigma_M - \sigma_m) \times a^2/2xb$$

Par application numérique on obtient:

$$M_u = -4,26 \text{ KN.m}$$

$$N_u = 118,17 \text{ KN}$$

Calcul des armatures principales

Le principe de calcul est le meme:

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

$$A_u = 0,45 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e}, A_{min} = 0,23 \times 1 \times 0,27 \times \frac{2,1}{400} = 3,26 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_{min} = 3,26 \times 10^{-4} m^2$$

$$\text{Choix } A_u = 3,26 \text{ cm}^2$$

Calcul des armatures de répartition

$$A_r \geq \text{Max} (A_u/4 ; 0,08 \cdot e)$$

$$A_r = 2,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix : 5HA8 (2,51 cm}^2)$$

III.5 Armature du patin

$$M_u = (\sigma_M \times (1 - c/b) + \sigma_m \times c/b) \times c^2/b + (\sigma_M - \sigma_m) \times c^3/2xb$$

$$N_u = (\sigma_M \times (1 - c/b) + \sigma_m \times c/b) \times b + (\sigma_M - \sigma_m) \times a^3/2xb$$

Par application numerique on obtient:

$$M_u = 46,13 \text{ KN.m}$$

$$N_u = 231,17 \text{ KN}$$

Calcul des armatures principales

Le principe de calcul est le meme:

$$A_u = \frac{M_u}{Z_u \cdot f_{Su}}$$

$$A_u = 5,02 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e}, A_{min} = 0,23 \times 1 \times 0,27 \times \frac{2,1}{400} = 3,26 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_{min} = 3,26 \times 10^{-4} m^2$$

$$\text{Choix } A_u = 5,02 \text{ cm}^2$$

Calcul des armatures de répartition

$$A_r \geq \text{Max} (A_u/4 ; 0,08 \cdot e), A_r = 2,5 \text{ cm}^2, \text{ Choix : 5HA8 (2,51 cm}^2)$$

Annexe IV : Tableau des paramètres fondamentaux des projets routiers

DESIGNATION DU PARAMETRE			Symbole et unité	Catégorie de Route					
				4e	3e	2e	1e	Except.	
Vitesse de référence			Vr (Km/h)	40	60	80	100	120	
Tracé en plan	Dévers maximal		$\square M$ (%)	7	7	7	7	7	
	Rayon en plan RH(m)	Minimal absolu (dévers $\square M$)	RHm	40	120	240	425	665	
		Minimal normal (dévers)	RHN ($\square\%$)	120 (5%)	240 (5%)	425 (5%)	665 (4%)	1000 (4%)	
		Au dévers minimal (*)	RH'' (2.5%)	250	450	650	900	1500	
			RH'' (2%)	300	500	700	1000	1600	
Non déversé	RH'	400	600	900	1300	1800			
Profil en long	Déclivité maximale en rampe		$\square m$ (%)	8	7	6	5	4	
	Rayon avec angle saillant Rv(m)	Chaussée unidirectionnelle. (Route à 4 voies ou à 2 chaussées)	Minimal absolu	RVm1	500	1500	3000	6000	12000
			Minimal normal	RVN1	1500	3000	6000	12000	12000
		Chaussée bidirectionnelle. (Route à 2 ou 3voies)	Minimal absolu	RVm2	500	1600	4500	10000	
			minimal normal	RVN2	1600	4500	10000	17000	
	Rayon en angle rentrant RV' (m)	Minimal absolu		RVm'	700	1500	2200	3000	4200
		Minimal normal		RVN'	1500	2200	3000	4200	6000
Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2 ou 3 voies			RVD (m)	2500	6500	11000	17000	28000	

Tableau des paramètres fondamentaux

(*) Le dévers minimal est 2.5% pour chaussée bitumineux, 2% pour chaussée en béton de ciment

Le 30/04/2012 à 12:57 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 3958
 C:\Users\SBA~1\Desktop\MEMOIR~1\PISTE\FICHIE~1\AXE2.PIS

AXE EN PLAN

Elém	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0.000	173002.350	1241090.230
D1	ANG = 383.468g	113.096			
			113.096	173971.654	1241061.189
C1	XC= 174125.723 YC= 1241641.071 R = 600.000	209.235			
			322.331	174179.073	1241043.447
D2	ANG = 5.668g	175.054			
			497.385	174353.434	1241059.013
C2	XC= 174326.758 YC= 1241357.825 R = 300.000	67.075			
			564.461	174419.024	1241072.365
D3	ANG = 19.902g	232.451			
			796.912	174640.209	1241143.856
C3	XC= 174763.230 YC= 1240763.244 R = -400.000	88.984			
			885.896	174727.215	1241161.619
D4	ANG = 5.740g	230.239			
			1116.135	174956.518	1241182.349
C4	XC= 174911.499 YC= 1241680.319 R = 500.000	78.552			
			1194.686	175033.875	1241195.526
D5	ANG = 15.741g	281.569			
			1476.255	175306.880	1241264.440
LONGUEUR DE L'AXE			1476.255		

Le 30/04/2012 à 14:27 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 3958
 C:\Users\SBA~1\Desktop\MEMOIR~1\PISTE\FICHIE~1\AXE2.PIS
PROFIL EN LONG

Elém	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0.000	247.630
D1	PENTE= -1.110 %	188.857		
			188.857	245.535
PA1	S= 299.8095 Z= 244.9191 R = 10000.00	14.286		
			203.143	245.386
D2	PENTE= -0.967 %	83.479		
			286.622	244.579
PA2	S= 189.9550 Z= 245.0465 R = -10000.00	242.745		
			529.367	239.287
PA3	S= 682.1017 Z= 236.6945 R = 4500.00	146.735		
			676.102	236.699
D4	PENTE= -0.133 %	140.786		
			816.887	236.511
PA4	S= 824.8873 Z= 236.5055 R = 6000.00	87.191		
			904.079	237.028
D5	PENTE= 1.320 %	572.176		
			1476.255	244.580
LONGUEUR DE L'AXE 1476.255				

Le 30/04/2012 à 14:34 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 3958

C:\Users\SBA~1\Desktop\MEMOIR~1\PISTE\FICHIE~1\AXE2.PIS

VOLUMES TERRASSEMENT

N°	ABSCISSE	REMLAI	DEBLAI	DECAPAGE	PURGE
PROF	CURVILIGN	VOLUME	VOLUME	VOLUME	VOLUME
1	0.000	15.4	9.0	0.0	0.0
2	30.000	18.4	1.8	0.0	0.0
3	60.000	25.0	0.0	0.0	0.0
4	90.000	62.0	0.0	0.0	0.0
5	113.096	34.0	0.0	0.0	0.0
6	120.000	29.4	0.0	0.0	0.0
7	150.000	19.6	1.5	0.0	0.0
8	180.000	0.0	14.7	0.0	0.0
9	210.000	0.0	18.6	0.0	0.0
10	240.000	0.5	5.5	0.0	0.0
11	270.000	45.5	0.0	0.0	0.0
12	300.000	22.4	0.0	0.0	0.0
13	322.331	0.0	7.8	0.0	0.0
14	330.000	0.0	15.5	0.0	0.0
15	360.000	0.0	43.4	0.0	0.0
16	390.000				
17	420.000	0.0	43.8	0.0	0.0
18	450.000	0.0	159.0	0.0	0.0
19	480.000	0.0	9.4	0.0	0.0
20	497.385	47.3	0.0	0.0	0.0
21	510.000	93.5	0.0	0.0	0.0
22	540.000	169.1	0.0	0.0	0.0
23	564.461	111.0	0.0	0.0	0.0
24	570.000	145.4	0.0	0.0	0.0
25	600.000	380.1	0.0	0.0	0.0
26	627.000	137.1	0.0	0.0	0.0
27	630.000	46.5	0.0	0.0	0.0
28	635.000	163.6	0.0	0.0	0.0
29	641.000	325.9	0.0	0.0	0.0
30	660.000	197.2	0.0	0.0	0.0
31	690.000	237.7	0.0	0.0	0.0
32	720.000	285.9	0.0	0.0	0.0
33	750.000	251.9	0.0	0.0	0.0
34	780.000	174.7	0.0	0.0	0.0
35	796.912	104.2	0.0	0.0	0.0
36	810.000	152.3	0.0	0.0	0.0
37	840.000	253.9	0.0	0.0	0.0
38	870.000	228.3	0.0	0.0	0.0
39	885.896	157.6	0.0	0.0	0.0
40	900.000	245.7	0.0	0.0	0.0
41	930.000	303.2	0.0	0.0	0.0
42	960.000	324.9	0.0	0.0	0.0
43	990.000	332.4	0.0	0.0	0.0
44	1020.000	270.3	0.0	0.0	0.0
45	1050.000	164.8	0.0	0.0	0.0
46	1080.000	46.5	0.0	0.0	0.0
47	1110.000	0.0	7.3	0.0	0.0
48	1116.135	0.0	7.0	0.0	0.0
49	1140.000	0.8	9.1	0.0	0.0
50	1170.000	21.4	0.2	0.0	0.0
51	1194.688	12.7	0.0	0.0	0.0
52	1200.000	12.5	0.0	0.0	0.0

1 / 2

Le 30/04/2012 à 14:34 -- PISTE 5.05 -- Licence n° 3958

C:\Users\SBA~1\Desktop\MEMOIR~1\PISTE\FICHIE~1\AXE2.PIS

VOLUMES TERRASSEMENT

N°	ABSCISSE	REMLAI	DEBLAI	DECAPAGE	PURGE
PROF	CURWIGN	VOLUME	VOLUME	VOLUME	VOLUME
53	1290.000	0.0	19.1	0.0	0.0
54	1280.000	0.0	22.0	0.0	0.0
55	1290.000	0.0	19.8	0.0	0.0
56	1320.000	18.1	0.0	0.0	0.0
57	1350.000	35.4	0.0	0.0	0.0
58	1380.000	50.1	0.0	0.0	0.0
59	1410.000	51.1	0.0	0.0	0.0
60	1440.000	28.3	0.8	0.0	0.0
61	1470.000	18.7	0.0	0.0	0.0
62	1476.255	3.2	0.0	0.0	0.0
		5858	399	0	0

Annexe V: Devis estimatif du projet

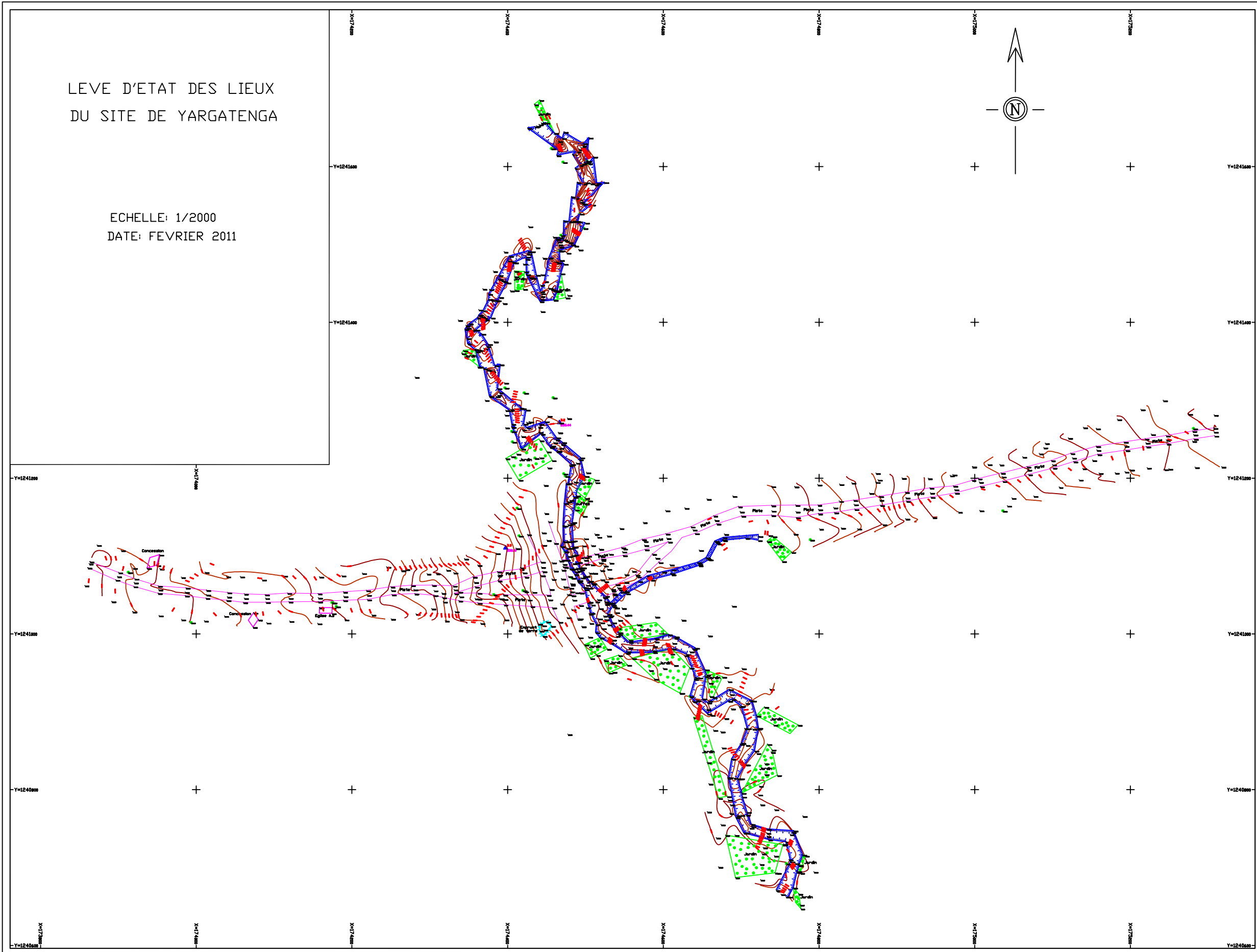
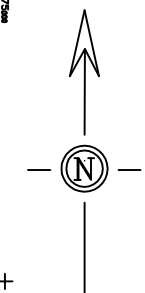
N° Prix	Désignation des travaux	unité	quantités	prix unitaires (FCFA)	prix total (FCFA)
I	Travaux Préparatoires				
I.1	Installation de chantier	ft	1	8 000 000,00	8 000 000,00
I.2	Amené et repliement du matériel	ft	1	9 000 000,00	9 000 000,00
	Sous total I				17 000 000,00
II	Préparation du terrain et terrassements généraux				
II.1	Nettoyage de l'emprise	m ²	8700	200,00	1 740 000,00
II.2	Décapage sur une épaisseur de 5 à 10 cm	m ²	8700	300,00	2 610 000,00
II.3	Déblais meubles mis en dépôt	m ³	399	3 500,00	1 396 500,00
II.4	Remblai ordinaire provenant d'emprunt	m ³	5305	4 500,00	23 872 500,00
	Sous total II				29 619 000,00
III	Chaussée				
III.1	Couche de forme	m ³	2600	6 000,00	15 600 000,00
III.2	Couche de roulement	m ³	1300	5 500,00	7 150 000,00
	Sous total III				22 750 000,00
IV	Ouvrage d'assainissement				
IV.1	Fossé triangulaire à 2/3-3/2	ml	2866	500,00	1 433 000,00
	Sous total IV				1 433 000,00
V	Ouvrage d'art (dalot)				
V.1	Béton de propreté dosé à 150 kg/m ³	m ³	17	57 500,00	977 500,00
V.2	Béton armé dosé à 350 kg/m ³	m ³	165	195 000,00	32 175 000,00
	Sous total V				33 152 500,00
VI	Ouvrage de protection				
VI.1	Gabions	m ³	50,00	25 000,00	1 250 000,00
VI.2	Enrochement	m ³	50,00	15 000,00	750 000,00
	Sous total VI				2 000 000,00
VII	Signalisation-Sécurité				

VII.1	Panneaux de signalisation de type A	u	2	75 000,00	150 000,00
VII.2	Panneaux de signalisation de type E	u	1	75 000,00	75 000,00
VII.3	Panneaux de signalisation de type P	u	2	75 000,00	150 000,00
VII.4	Panneaux de signalisation de type K	u	2	75 000,00	150 000,00
	Sous total VI				525 000,00
VIII	Environnement	ft	1	5 000 000,00	5 000 000,00
	Sous total VII				5 000 000,00
	TOTAL HTVA				110 046 500,00
	Imprévus (10%)				11 004 650,00
	TOTAL HTVA Y compris imprévus				121 051 150,00
	TVA (18%)				21 789 207,00
	TOTAL TTC				142 840 357,00

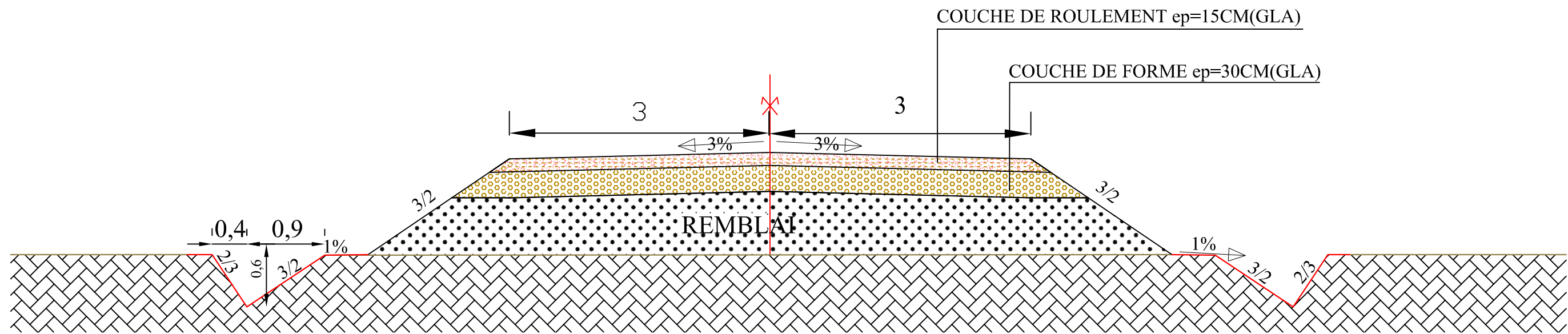
VI. PLANS D'EXECUTION

LEVE D'ETAT DES LIEUX
DU SITE DE YARGATENGA

ECHELLE: 1/2000
DATE: FEVRIER 2011



FOND TOPOGRAPHIQUE



PROFIL EN TRAVERS TYPE

STRUCTURE D'ACCEUIL:

Agence d'étude d'Ingénierie et de maîtrise d'oeuvre



STRUCTURE FORMATION:

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement



THEME DU PROJET :

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES ET ENVIRONNEMENTALE D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT SUR LE OUARE ET DE SES VOIES D'ACCES :(RD35 : SANGHA-YARGATENGA) DANS LA REGION DU CENTRE-EST

Profil en travers type

DATE : 2011-2012

ECHELLE :

PLAN N°2

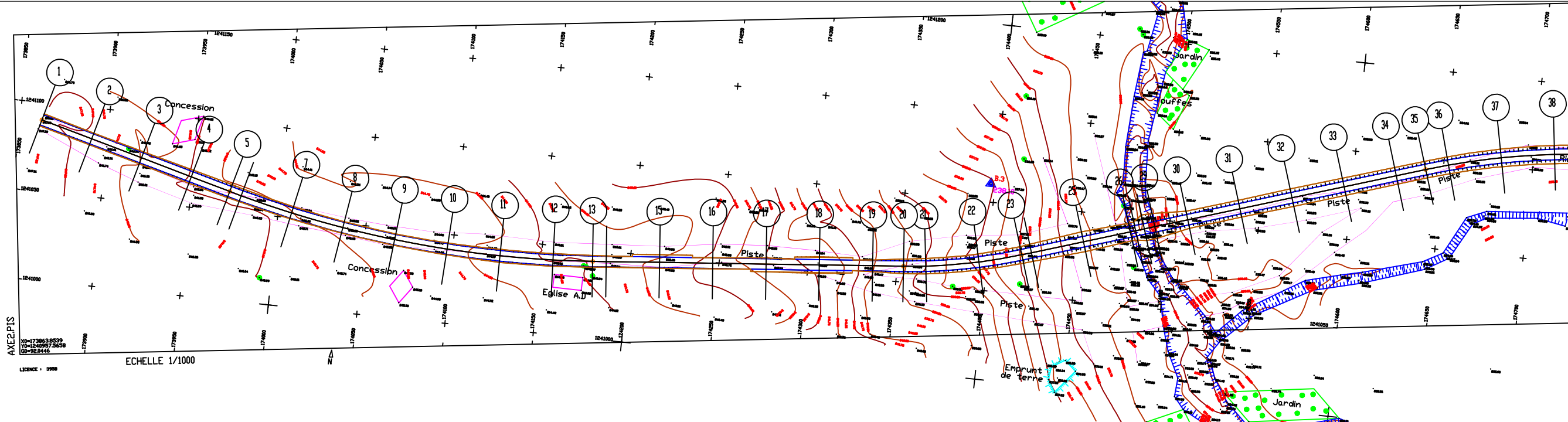
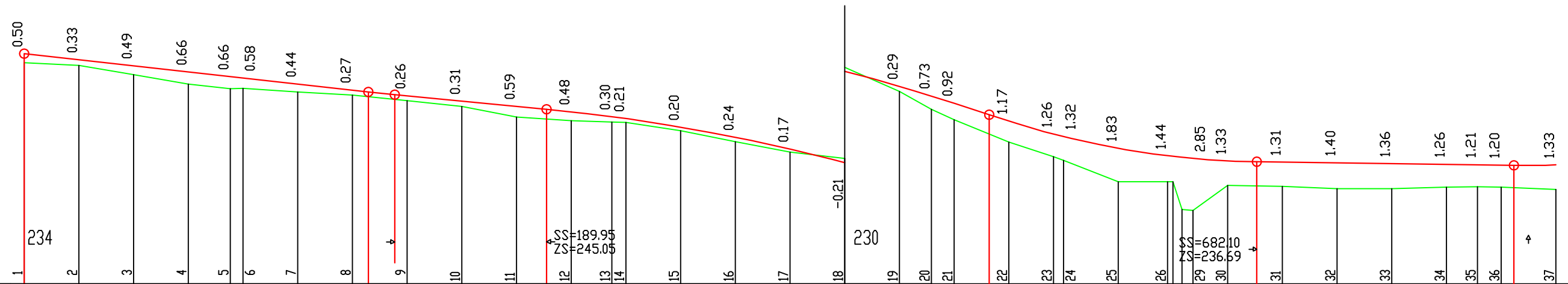


PLANCHE 1/ 2
 ECHELLE EN S 1/ 2500
 ECHELLE EN Z 1/ 250
 PLAN DE COMPARAISON



AXE2.PIS

COTES TERRAIN	247.13	246.97	246.47	245.97	245.72	245.72	245.52	245.37	245.28	245.06	244.72	244.15	244.04	243.96	243.87	243.85	243.40	242.80	242.23	241.88	240.55	239.59	239.00	238.21	237.77	236.97	236.77	235.61	235.60	234.03	235.42	235.39	235.37	235.24	235.24	235.30	235.33	235.32	235.29	235.19				
DISTANCES PARTIELLES		30	30	30	23.1	30	30	30	30	30	30	30	30	22.3	7.67	30	30	30	30	30	30	17.4	12.6	30	24.5	30	27	19	30	30	30	30	16.9	13.1	30									
DISTANCES CUMULEES	0.00	30.00	60.00	90.00	113.10	120.00	150.00	180.00	188.86	210.00	240.00	270.00	286.62	300.00	322.33	330.00	360.00	390.00	420.00	450.00	480.00	497.39	510.00	529.37	540.00	564.46	570.00	600.00	627.00	641.00	660.00	676.10	690.00	720.00	750.00	780.00	796.91	810.00	816.89	840.00				
COTES PROJET	247.63	247.30	246.96	246.63	246.38	246.30	245.97	245.63	245.53	245.32	245.03	244.74	244.58	244.44	244.17	244.07	243.60	243.05	242.40	241.67	240.84	240.32	239.93	239.29	238.94	238.23	238.09	237.44	237.03	236.88	236.75	236.70	236.68	236.64	236.60	236.56	236.54	236.52	236.51	236.52				
DECLIVITES PROJET	L=188.857		P=1.11%		L=83.479		P=0.97%		R=10000 L=242.745		R=4500 L=146.735		P=0.13%																															
ALIGNEMENTS ET COURBES	r=116.532 L=113.096		R=600 L=209.235		r=94.332 L=175.054		R=300 L=67.075		r=80.098 L=232.451		R=400 L=43.088																																	

STRUCTURE D'ACCEUIL:

Agence d'étude d'Ingénierie et de maitrise d'oeuvre



STRUCTURE FORMATION:

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement



THEME DU PROJET :

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES ET ENVIRONNEMENTALE D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT SUR LE OUARE ET DE SES VOIES D'ACCES : (RD35 : SANGHA-YARGATENGA) DANS LAREGION DU CENTRE-EST

Profil en long et tracé en plan

DATE : 2011-2012

ECHELLE : 1/2500

PLAN N°3

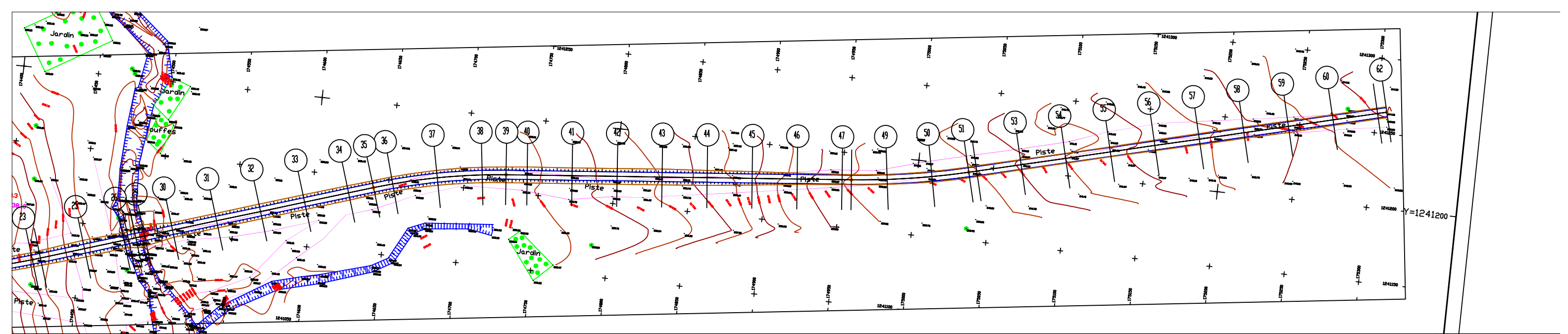
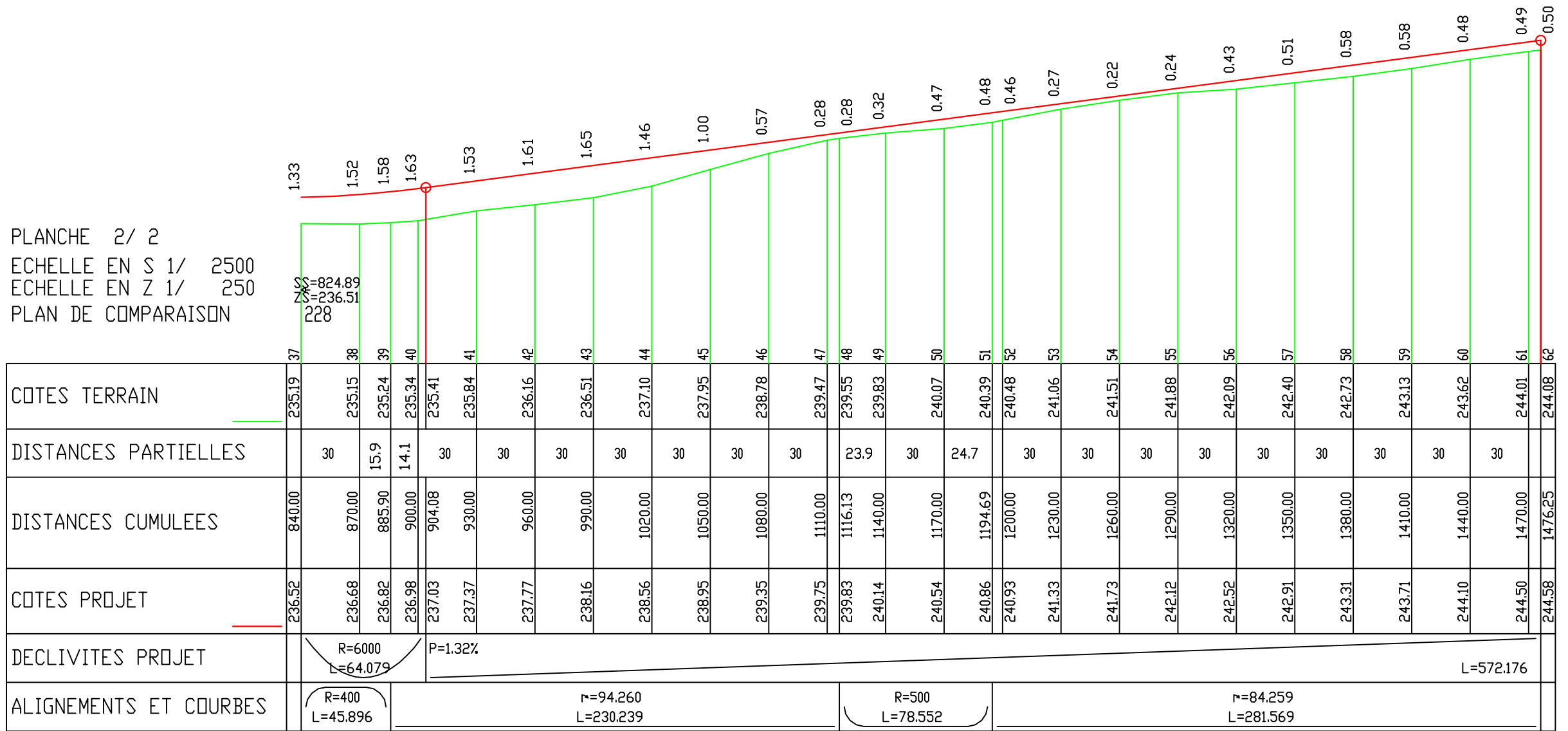


PLANCHE 2 / 2
 ECHELLE EN S 1/ 2500
 ECHELLE EN Z 1/ 250
 PLAN DE COMPARAISON

AXE2.PIS



STRUCTURE D'ACCEUIL:

Agence d'étude d'Ingénierie et de maîtrise d'oeuvre



STRUCTURE FORMATION:

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement



THEME DU PROJET :

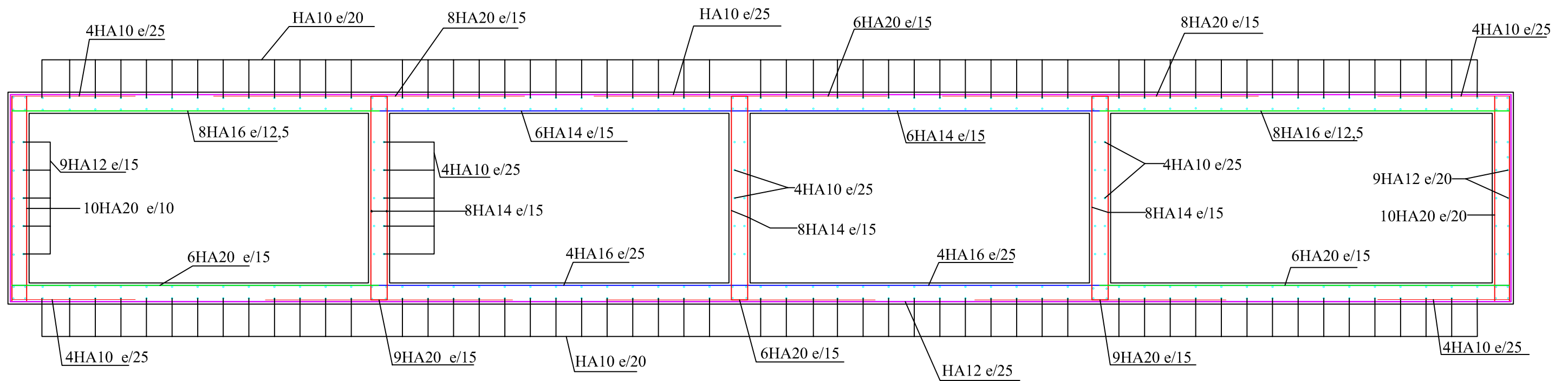
ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES ET ENVIRONNEMENTALE D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT SUR LE OUARE ET DE SES VOIES D'ACCES : (RD35 : SANGHA-YARGATENGA) DANS LA REGION DU CENTRE-EST

Profil en long et tracé en plan

DATE : 2011-2012

ECHELLE : 1/2500

PLAN N°4



Ferrailage du dalot Cadre de 4x4x2

STRUCTURE D'ACCEUIL:

Agence d'étude d'Ingénierie et de maîtrise d'oeuvre



STRUCTURE FORMATION:

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement



THEME DU PROJET :

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES ET ENVIRONNEMENTALE D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT SUR LE OUARE ET DE SES VOIES D'ACCES :(RD35 : SANGHA-YARGATENGA) DANS LA REGION DU CENTRE-EST

Ferrailage du dalot cadre

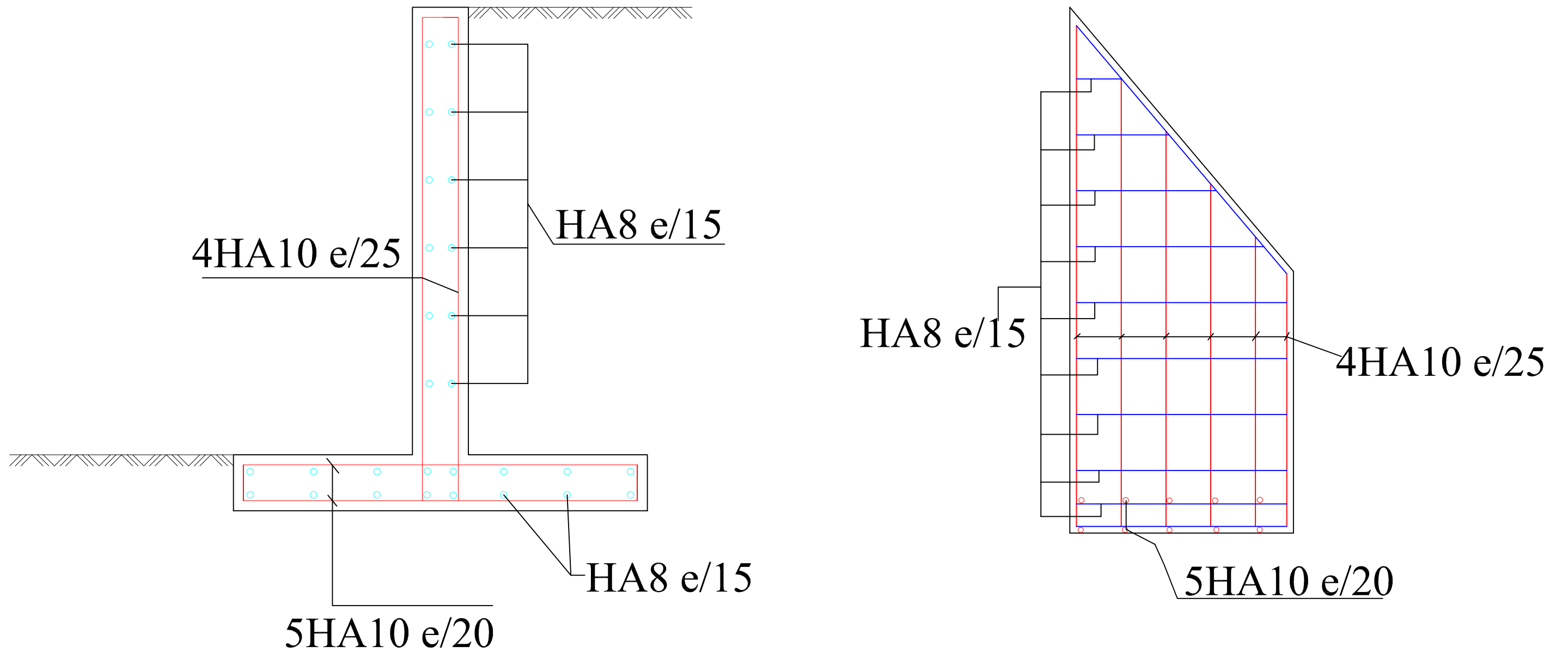
DATE : 2011-2012

ECHELLE :

PLAN N°1

AVANT

ARRIERE



Mur en Aile

STRUCTURE D'ACCEUIL:

Agence d'étude d'Ingénierie et
de maîtrise d'oeuvre



STRUCTURE FORMATION:

Institut International d'
Ingénierie de l'Eau et de
l'Environnement



THEME DU PROJET :

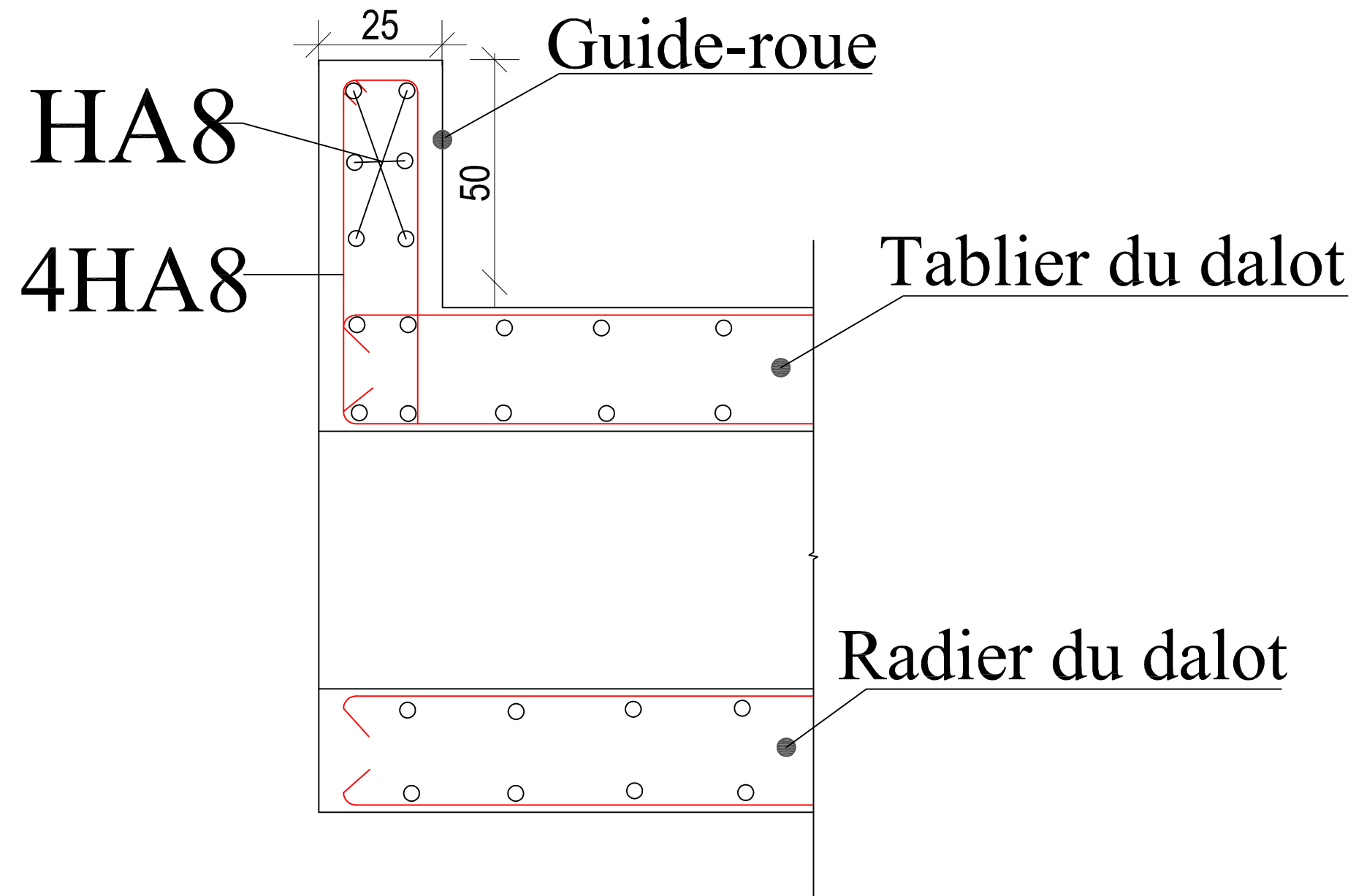
ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES ET ENVIRONNEMENTALE
D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT SUR LE OUARE
ET DE SES VOIES D'ACCES :(RD35 : SANGHA-YARGATENGA)
DANS LA REGION DU CENTRE-EST

Ferrailage du mur en aile

DATE : 2011-2012

ECHELLE :

PLAN N°2



Coffrage et Ferrailage de Guide-Roue

STRUCTURE D'ACCEUIL:

Agence d'étude d'Ingénierie et
de maîtrise d'oeuvre



STRUCTURE FORMATION:

Institut International d'
Ingénierie de l'Eau et de
l'Environnement



THEME DU PROJET :

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES ET ENVIRONNEMENTALE
D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT SUR LE OUARE
ET DE SES VOIES D'ACCES :(RD35 : SANGHA-YARGATENGA)
DANS LAREGION DU CENTRE-EST

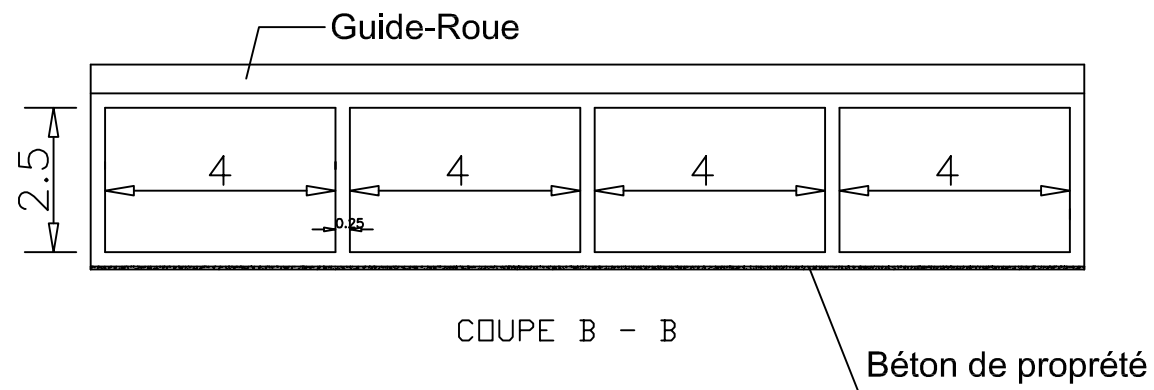
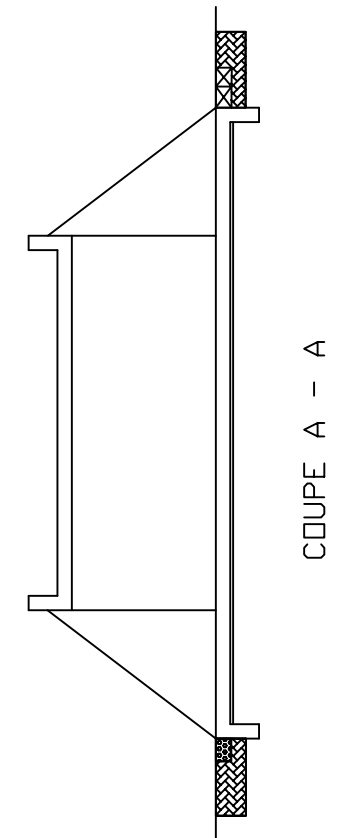
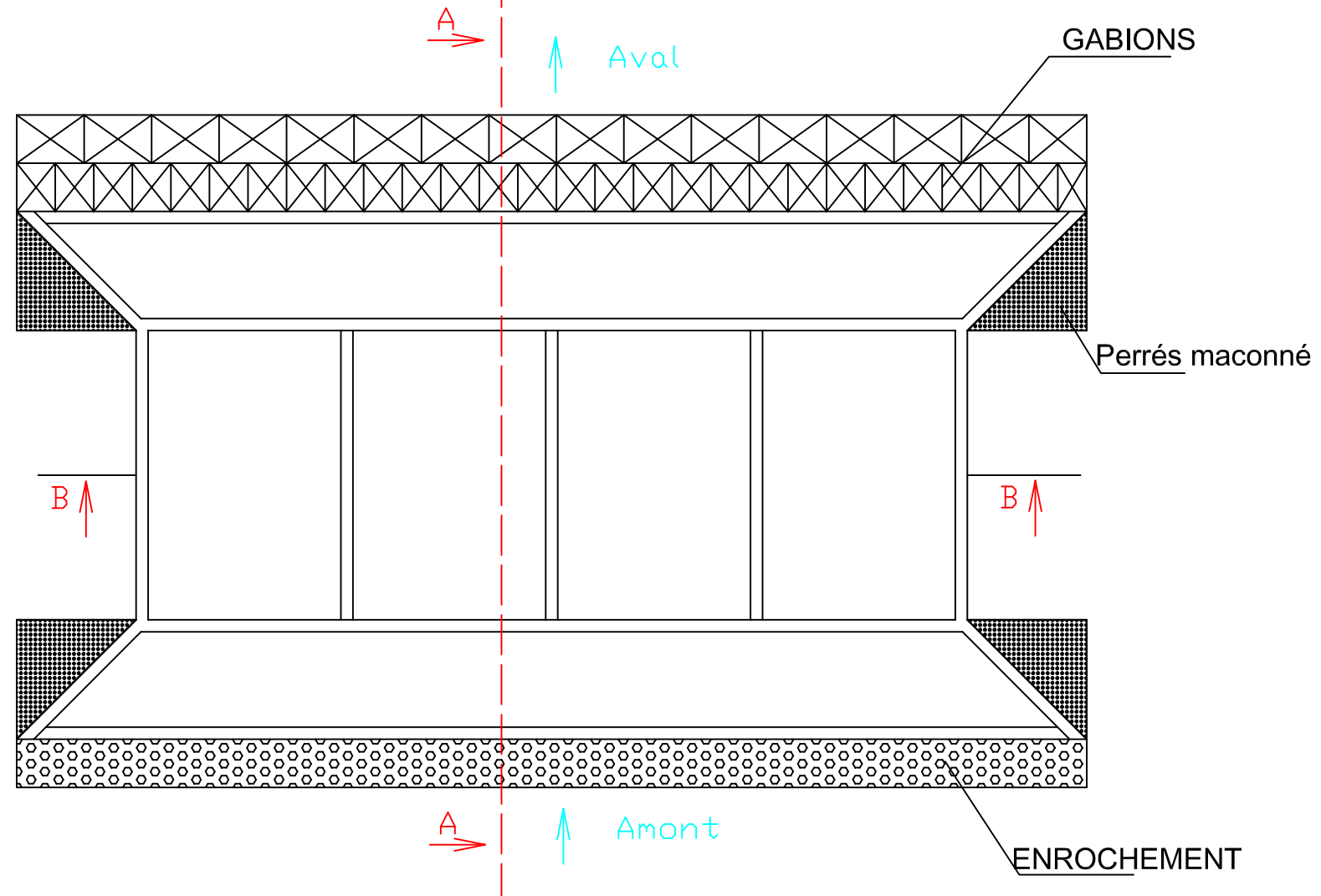
Ferrailage du guide-roue

DATE : 2011-2012

ECHELLE :

PLAN N°3

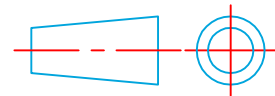
VUE EN PLAN



2iE

Cycle Master

Ech.:



Vue en plan du dalot cadre

30/04/2012

Bayala Sébastien Yifourzoua

N°4