



**ETUDE COMPARATIVE DU DIMENSIONNEMENT
D'UN DALOT SUR LE TRONCON SABOU-
KOUDOUGOU-DIDYR (CALCUL MANUEL ET CALCUL
ASSISTE PAR L'ORDINATEUR)**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE
L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE CIVIL**

Présenté et soutenu publiquement le 25 octobre 2013 par

Zongo Pagoulonkomba Aude Larissa

Travaux dirigés par :

Docteur Ismaila GUEYE, Enseignant chercheur de la Fondation 2iE
Mr Abdramane HAIDARA, Ingénieur en Génie Civil

Jury d'évaluation du stage :

Président : Docteur Ismaila GUEYE

Membres et correcteurs : M. Jacques Remi MINANE
M. Abdramane HAIDARA

Promotion [2012/2013]



DEDICACES

A cœur vaillant rien d'impossible
A conscience tranquille tout est accessible

Quand il y a la soif d'apprendre
Tout vient à point à qui sait attendre

Quand il y a le souci de réaliser un dessein
Tout devient facile pour arriver à nos fins

En dépit des difficultés qui s'interposent
Tout reste possible

Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys,
Nous prions Dieu que cette soutenance
Fera signe de persévérance
Et que nous serions enchantés
Par ce travail

Je dédie ce modeste travail à :

- 🌀 A mon père, école de mon enfance, tu as assuré avec loyauté tout mon cursus.
- 🌀 A ma mère, pour ton soutien maternel inconditionnel.
- 🌀 A mes frères et sœurs, vous m'avez soutenu dans mes moments difficiles.
- 🌀 A tous mes parents et proches pour vos encouragements.
- 🌀 A mes ami(e)s qui n'ont ménagés aucun effort pour me soutenir dans mon travail.

REMERCIEMENTS

J'exprime toute ma gratitude à **Monsieur Abdramane HAIDARA**, Gérant de l'entreprise IRMA AFRIQUE, pour nous avoir donné l'opportunité d'effectuer notre stage au sein de son bureau d'étude. Je tiens à le remercier aussi en tant que Directeur de mémoire externe pour sa disponibilité, l'expérience enrichissante et ces multiples conseils constructifs depuis le BTS.

Je remercie très sincèrement le **Docteur Ismaila Gueye**, Directeur de mémoire interne, pour sa disponibilité et son suivi.

Mes remerciements vont à l'endroit de **Monsieur Ouattara Drissa**, Directeur Administratif et Financier d'IRMA AFRIQUE pour son dynamisme.

J'adresse également mes remerciements à tout le personnel d'IRMA AFRIQUE pour leur accueil et la coopération professionnelle.

Sans oublier tout le corps professoral et le personnel de la fondation 2iE pour leur compréhension, leur patience et leur conseil.

Une pensée à tous les stagiaires de la Direction pour leur bon humour.

RESUME

Cette étude a été menée en vue de dimensionner un ouvrage de franchissement routier. Cet ouvrage est un dalot existant sur le tronçon Sabou-Koudougou-Didyr. Deux méthodes ont été utilisées afin de lier qualité technique et rentabilité économique. Une étude hydrologique et hydraulique a été menée en vue de déterminer le débit de projet, les dimensions de l'ouvrage et la vitesse d'écoulement de l'eau. Sous les différentes hypothèses de calcul les dimensionnements manuel et assisté à l'ordinateur ont été effectués. Le dalot est avec des murs en ailes sur semelle. Le calcul manuel du dalot a été effectué sur un mètre linéaire en utilisant la méthode des trois moments afin de déterminer les efforts et moments appliqués. Le mur en aile a été calculé comme un mur de soutènement. Le dimensionnement assisté par ordinateur a nécessité l'utilisation du logiciel CYPE. A l'issue de ces dimensionnements, il ressort que :

- Le calcul manuel donne presque les mêmes sections et quantité d'aciers que le calcul assisté à l'ordinateur. Ces sections d'aciers sont des HA10 et HA12.
- Le calcul manuel est fastidieux et couteux en temps. Aussi, les risques d'erreurs sont importants.
- Avec le logiciel, en un temps très court, on obtient tous les résultats et les risques d'erreurs sont réduits.

Ces deux méthodes ont permis d'apporter une réponse quant aux choix de dimensionnement structural. Notre choix s'est porté sur le dimensionnement assisté par ordinateur, pour ses multiples avantages qui sont : CYPE fournit des plans de dimensions et des armatures des étages, des poutres, des poteaux, des voiles et des murs par ploter, imprimante et fichier DXF/DWG ainsi que les listes des données et les résultats de calcul.

En effet, grâce au devis quantitatif, le coût de l'ouvrage a été déterminé et s'élève environ à Cinq neuf millions quatre cents quatre-vingt-quatre mille deux cent cinq francs (**59 484 205 FCFA TTC**).

Mots clés :

Hydrologie - Hydraulique - Dalot - Mur en aile - Dimensionnement - Logiciel.

ABSTRAT

This survey has been led in order to proportion a road clearing work. This work is an existing Scupper on the Sabou-Koudougou-Didyr section. Two methods have been used in order to ally technical quality and economic profitability. A survey hydrologique and hydraulic has been led in order to determine the debit of project, the measurements of the work and the speed of water out-flow. Under the different hypotheses of calculation the dimensionality manual and assisted to the computer has been done. The scupper is with walls in wings on sole. Calculate it manual of the scupper has been done on one linear meter while using the method of the three moments in order to determine the efforts and moments applied. The wall in wing has been calculated like a retaining wall. The computer-assisted dimensionality required the use of the software CYPE. To the descended of this dimensionality, he comes out again that:

- The manual calculation nearly gives the sections and quantity of steels that the calculation attended the computer; these sections are steel HA10 and HA12.
- The manual calculation is trying; the risks of mistakes are important and require a lot of time.
- With the software in a lapse of time one gets all results and the risks of mistakes are reduced.

These two methods permitted to bring an answer as for the choices of structural dimensionality. Proportion it therefore with the software has been kept in relation to the dimensionality manual bus presents some advantages interest which are: CYPE provides dimensioned plans and reinforcement of floors, beams, columns, walls and veils by fondle, printer and file DXF / DWG and lists of data and calculation results.

It permitted to determine the cost of the work that rises about to Five nine millions four hundred fourth twenty fourth miles two hundred five francs **(59 484 205) FCFA** all taxes included.

Key words:

Hydrology - Hydraulic - Scupper - Wall in wing - Dimensionality - Software.

SIGLES ET ABBREVIATIONS

Amin	: Section d'armatures minimales
As	: Section d'armatures longitudinales
Asc	: Section d'armatures comprimées
Ast	: Section d'armatures
BAEL	: Béton armé aux états limites
d	: Hauteur utile
E	: Module d'élasticité de l'acier
ELS	: Etat limite se service
f_{bu}	: Résistance conventionnelle ultime à la compression du béton
fc₂₈	: Résistance caractéristique à la compression de béton à 28 jours d'âge
f_e	: Limite d'élasticité garantie de l'acier
FP	: Fissuration préjudiciable
ft₂₈	: Résistance caractéristique à la traction du béton à 28 jours d'âge
G	: Charge permanente
HA	: Acier haute adhérence
I	: Moment d'inertie
M₁	: Moment sur appui A
M_{SER}	: Moment de service
M_{rub}	: Moment résistant béton
M₁	: Moment sur appui 1
Pt	: Poutre
Q	: Charge d'exploitation
U_u	: Moment réduit
V	: Effort tranchant
Z	: Bras de levier
α	: Paramètre de déformation
γ_b	: Coefficient de sécurité du béton
γ_s	: Coefficient de sécurité de l'acier
σ	: Contrainte apportée par l'ouvrage
σ_{sc}	: Contrainte de l'acier comprimé
σ_{sol}	: Contrainte du sol
σ_{max}	: Contrainte de l'acier maximale
2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'Environnement
MCA-BF	: Millenium challenge Account-Burkina Faso
MCC	: Millenium Challenge Corporation
BA	: Béton Armé
RN	: Route Nationale
FCFA	: Francs CFA
TTC	: Toute taxe comprise

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRAT.....	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS	v
TABLE DES MATIERES	1
LISTE DES TABLEAUX.....	3
LISTE DES FIGURES.....	4
I. Introduction	5
I.1. Contexte générale.....	6
I.2. Problématique	6
I.3. Objet de l'étude.....	7
II. Matériels et Méthodes	7
II.1. Présentation de la zone d'étude	7
II.2. Présentation de la structure d'accueil du stage	8
II.2.1. Situation géographique.....	8
II.2.2. Domaines d'interventions	8
II.2.3. Organisation.....	9
II.3. Matériels	9
II.4. Méthodes	10
II.4.1. Etude hydrologique et Hydraulique	10
II.5. Calcul manuel du dalot avec mur en aile.....	19
II.5.1. Dalot	19
II.5.2. Mur en aile	25
III.6. Calcul assisté à l'ordinateur du dalot et du mur en aile	28

II.6.1. Norme et matériaux	28
II.6.2. Géométrie.....	29
II.6.3. Méthode de calcul.....	29
II.7. Devis quantitatif et estimatif.....	29
III. Résultats	31
III.1. Paramètres physique du bassin versant	31
III.2. Crue de projet	32
III.3. Dimensionnement hydraulique	32
III.4. Résultats du calcul manuel du Dalot avec mur en aile.....	35
III.5. Résultat du calcul assisté par l'ordinateur du Dalot avec mur en aile.....	40
III.6. Estimation du cout de l'ouvrage.....	42
IV. Discussions et Analyses	42
V. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	44
VI. BIBLIOGRAPHIE	46
VII. ANNEXES	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classe des reliefs en fonction de la dénivelée spécifique (Ds)	16
Tableau 2: Coefficient de Montana - Station Ouagadougou	17
Tableau 3: Classe des ponts en fonction de la largeur roulable	21
Tableau 4: Coefficient bc à affecter au système BC en fonction du nombre de files considérées et la classe de pont	23
Tableau 5: Coefficient bt à affecter au système BT en fonction de la classe de pont	23
Tableau 6: Paramètre physique du bassin versant	31
Tableau 7: Crue de projet	32
Tableau 8: Dimensionnement hydraulique	33
Tableau 9: Récapitulatif des moments, des sections d'aciers et leurs espacements	39
Tableau 10: Sollicitations et efforts appliquées sur le mur en aile	40
Tableau 11: Sections d'armatures par parties d'ouvrage	40
Tableau 12: Description de l'armature du dalot	40
Tableau 13: Récapitulatif mur en aile de sortie droite	41
Tableau 14: Récapitulatif de l'estimation de l'ouvrage	42
Tableau 15: Types d'aciers donné par le calcul manuel	43
Tableau 16: Types d'aciers donné par le logiciel CYPE	43

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation du dalot.....	7
Figure 2: Plan de situation de la zone d'étude du projet.	8
Figure 3: Vue en plan du dalot.	11
Figure 4: Principaux cours d'eau du Burkina-Faso et les bassins versants associés.....	14
Figure 5: Schéma représentative du dalot.	20
Figure 6: Diagramme des moments.....	24
Figure 7: Schéma représentatif du mur en aille.....	27
Figure 8: Géométrie du dalot sur CYPE	29
Figure 9: Modélisation charges permanentes	35
Figure 10: Disposition des camions Bc dans le sens transversal	36
Figure 11: Vue en plan de 2 camions Bc côte à côte.....	36
Figure 12: Angle du revêtement	36
Figure 13: Chargement Bt 2 voies, Dalot simple	37
Figure 14: Vue en plan deux (02) tandems	37
Figure 15: Représentation des charges	38

I. Introduction

Depuis plusieurs années, le secteur du génie civil connaît un essor considérable au Burkina Faso. Plusieurs ouvrages ont été réalisés. On peut citer la construction des routes, des ponts, des radiers, des buses, des échangeurs. Et les projets de réhabilitation qui sont en cours d'évolution.

La route du développement passe par le développement de la route, dit-on. Le Burkina Faso qui a fait sien cette pensée y a ajouté une autre dimension en faisant de la route un outil important dans la conduite de son processus de décentralisation et de désenclavement. Le projet vise à l'amélioration de l'accès au marché par un renforcement du réseau routier desservant de nombreuses villes comme celle de Sabou, Koudougou et Didyr. D'une manière spécifique le projet de désenclavement vise l'atteinte de plusieurs résultats, il s'agit de l'amélioration des conditions de circulation des routes primaires ; l'amélioration des conditions de circulation sur le réseau de pistes rurales ; l'amélioration du système d'entretien du réseau routier et la mise en place d'un fond périodique d'entretien.

Par ailleurs dans le génie civil des niveaux d'exigences sont définis et la démarche qualité est permanente afin de construire vite, solide, économique, beau et agréable à voir. Le bon dimensionnement est l'une de ces exigences. Autrefois le dimensionnement des infrastructures routières se faisait à la main, mais de nos jours avec les nouvelles technologies, plusieurs logiciels permettent de remplacer nos pratiques plus anciennes. Ainsi, la question est de savoir quelle méthode est la plus efficace et la plus appropriée.

C'est dans ce contexte que le présent projet porte sur l'étude comparative du dimensionnement d'un dalot sur le tronçon Sabou-Koudougou-Didyr entre le calcul manuel et assisté par l'ordinateur. Plusieurs études ont été menées pour l'aboutissement de ce projet :

- ✓ Le choix de l'ouvrage de franchissement
- ✓ L'étude hydrologique
- ✓ L'étude hydraulique
- ✓ Le dimensionnement manuel
- ✓ Le dimensionnement assisté par l'ordinateur
- ✓ L'estimation de l'ouvrage

I.1. Contexte générale

Au Burkina Faso, le gouvernement a signé avec les Etats-Unis un accord de subvention dans le cadre du MCC. Ainsi le gouvernement Burkinabé a signé le 14 juillet 2008, un contrat de cinq ans, de 480,9 millions de subvention (compact) pour financer un programme conçu pour aider à réduire la pauvreté par des interventions dans l'agriculture, le transport et les infrastructures sociales. Au terme de l'accord, le Millenium challenge Accourt-Burkina Faso (MCA-BF) est l'entité responsable de la gestion globale de la mise en œuvre de ce compact.

Les tronçons de la RN13/RN21, Sabou-Koudougou-Didyr (76km) et Didyr-Tougan (84km) font partie du compact d'infrastructure routière financé par le MCC, et qui seront réhabilités pour atteindre un niveau de service de route bitumée moderne. Sur les deux Tronçons, 167 ouvrages hydrauliques ont été recensés, soit un ouvrage par kilomètre environ en moyenne.

Les dimensions des ouvrages existants et leur diagnostic hydraulique sont recensés. De ce diagnostic, il ressort que la plupart des ouvrages existants ont une capacité inférieure au débit de projet et nécessite un renforcement.

I.2. Problématique

Le tronçon Sabou-Koudougou-Didyr fait partie du projet de réhabilitation financé par le MCC en vue de répondre aux normes d'une route bitumée. Ainsi la majorité des ouvrages hydrauliques recensés sont pour la plupart jugé en mauvais état et devrait être améliorée. Le dalot objet de l'étude, fait partie de ceux dont la section hydraulique est jugée insuffisante et devra être augmentée. Situé au PK 36+790,75 ; le bon dimensionnement de ce dalot contribuera d'une manière générale au fonctionnement du trafic et à la fluidité des usagers. Il contribuera au désenclavement des régions de Sabou, Koudougou et Didyr ; soit le développement des activités des populations, la diminution des durées de transport. Par conséquent il sera plus facile et moins couteux de quitter la route de Bobo Dioulasso en passant par Sabou et rejoindre Koudougou, vice-versa. Comment faire pour réussir le dimensionnement et savoir apprécier ces deux résultats ?

I.3. Objet de l'étude

Dans le souci d'apporter une réponse à la question évoquée ci-dessus, deux méthodes seront utilisées. Ainsi les résultats serviront de base de données pour le développement d'une étude rationnelle des dalots dans le futur. L'objet principal de l'étude est de faire un dimensionnement structural en utilisant deux méthodes différentes afin d'obtenir un dalot économiquement favorable et répondant aux normes techniques.

II. Matériels et Méthodes

II.1. Présentation de la zone d'étude

Le dalot, objet de la présente étude, se trouve sur la route de Sabou-Koudougou-Didyr. D'une longueur totale de 160,95Km, la route se présente comme suit :

Une première section reliant Sabou-Koudougou d'une longueur de 27,90Km représentant la RN13 et une deuxième section reliant Koudougou-Dydir-Tougan de longueur 132,55Km représentant la RN21. En effet le dalot est situé au PK 36+790,75 ; plus précisément sur l'axe Koudougou-Didyr comme l'indique la carte.

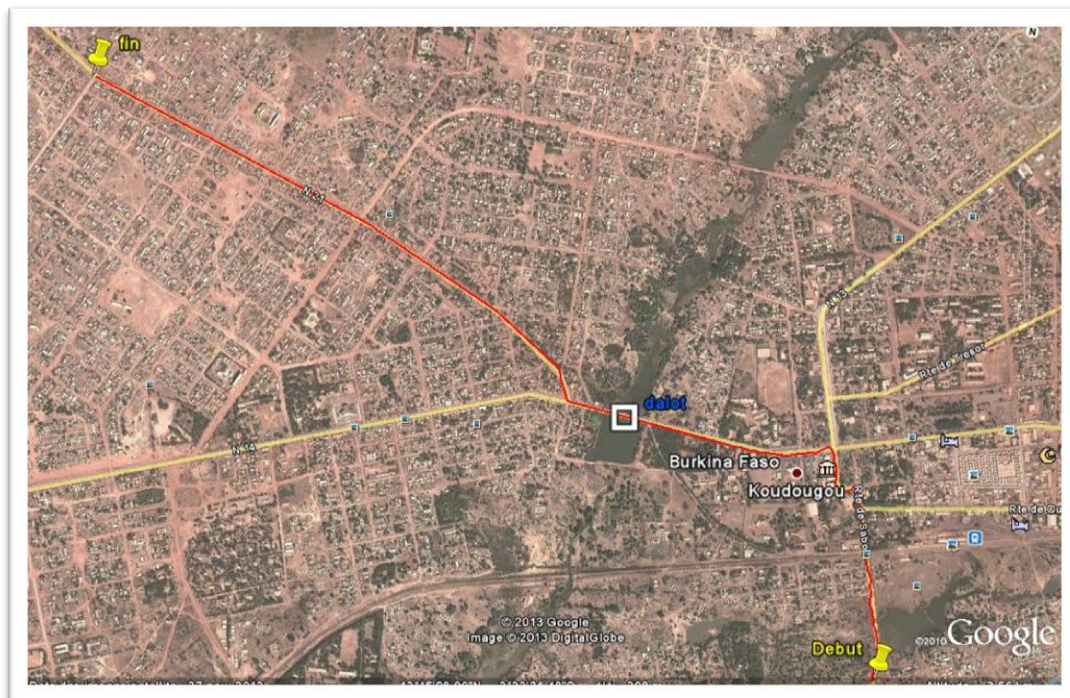


Figure 1: Localisation du dalot.

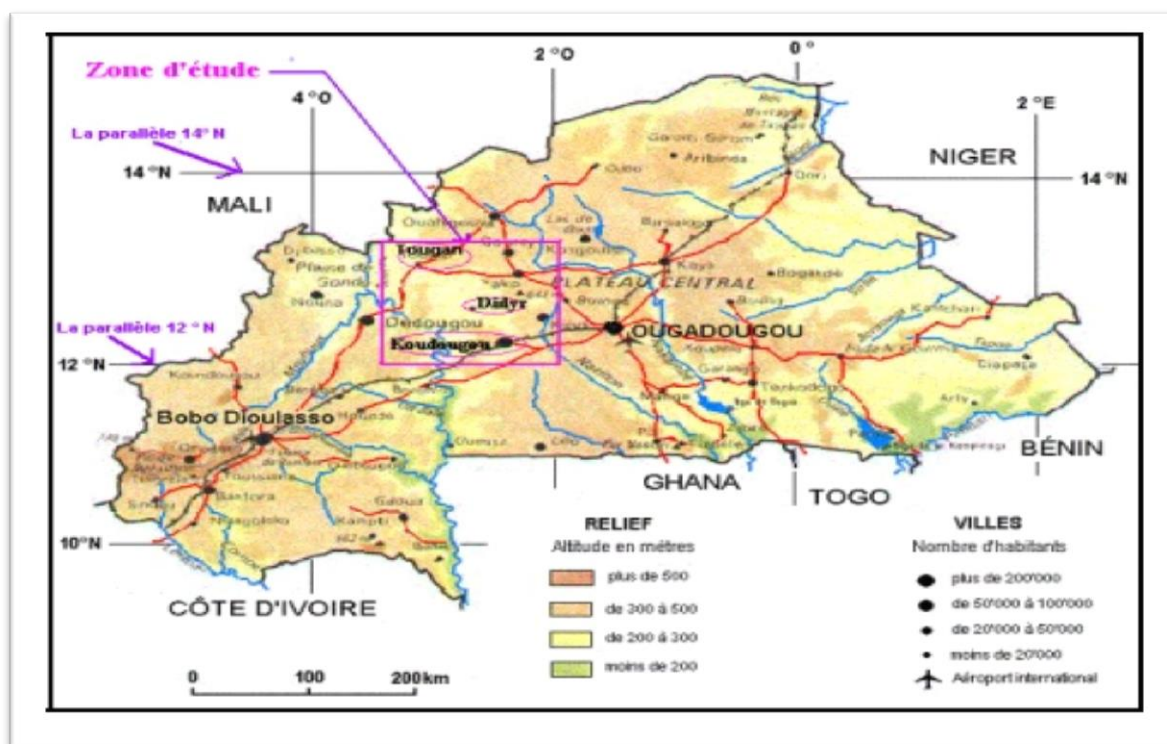


Figure 2: Plan de situation de la zone d'étude du projet.

II.2. Présentation de la structure d'accueil du stage

II.2.1. Situation géographique

IRMA-AFRIQUE est un cabinet d'ingénierie Génie Civil, de management et travaille en étroite collaboration avec les architectes urbanistes dans le domaine de l'architecture, d'urbanisme et d'aménagement situé à Ouagadougou au secteur n°10, rue 10-47.

Adresse : 08 BP 11399 Ouagadougou 08

Tél : +226 50 33 18 94

E-mail : haidarasherif@yahoo.fr

II.2.2. Domaines d'interventions

La société, IRMA-AFRIQUE effectue des prestations dans les domaines ci-après :

Ingénierie Génie Civil.

- ✓ Etudes d'Ingénieries et Conception de solutions techniques dans tous les domaines du Génie Civil,
- ✓ Calcul de structure Expertise et évaluation immobilière
- ✓ Diagnostic technique et Expertise technique

- ✓ Surveillance et gestion de chantier
- ✓ Calcul d'ouvrage d'art (dalots, ponts, bache à eau...)
- ✓ Etudes de faisabilité (en aménagement hydro-agricole, barrage, route etc.)
- ✓ Calcul de piste rurale et de route revêtue
- ✓ Suivi et contrôle des travaux
- ✓ Assistance technique (conseil ordonnancement, ...)
- ✓ Conduite de projet (gestion)

II.2.3. Organisation

IRMA-AFRIQUE est une société à responsabilité limitée (SARL) exerçant dans le domaine de l'ingénierie Génie Civil, de l'urbanisme, de l'aménagement et du design. Créée, en janvier 2011; **IRMA-AFRIQUE** est représentée en Afrique par un gérant dans les pays suivants : Burkina Faso, Sénégal, Mali, Bénin et Togo. Elle intervient aussi dans les pays suivants : Burkina Faso ; Côte d'Ivoire ; Niger ; Ghana.

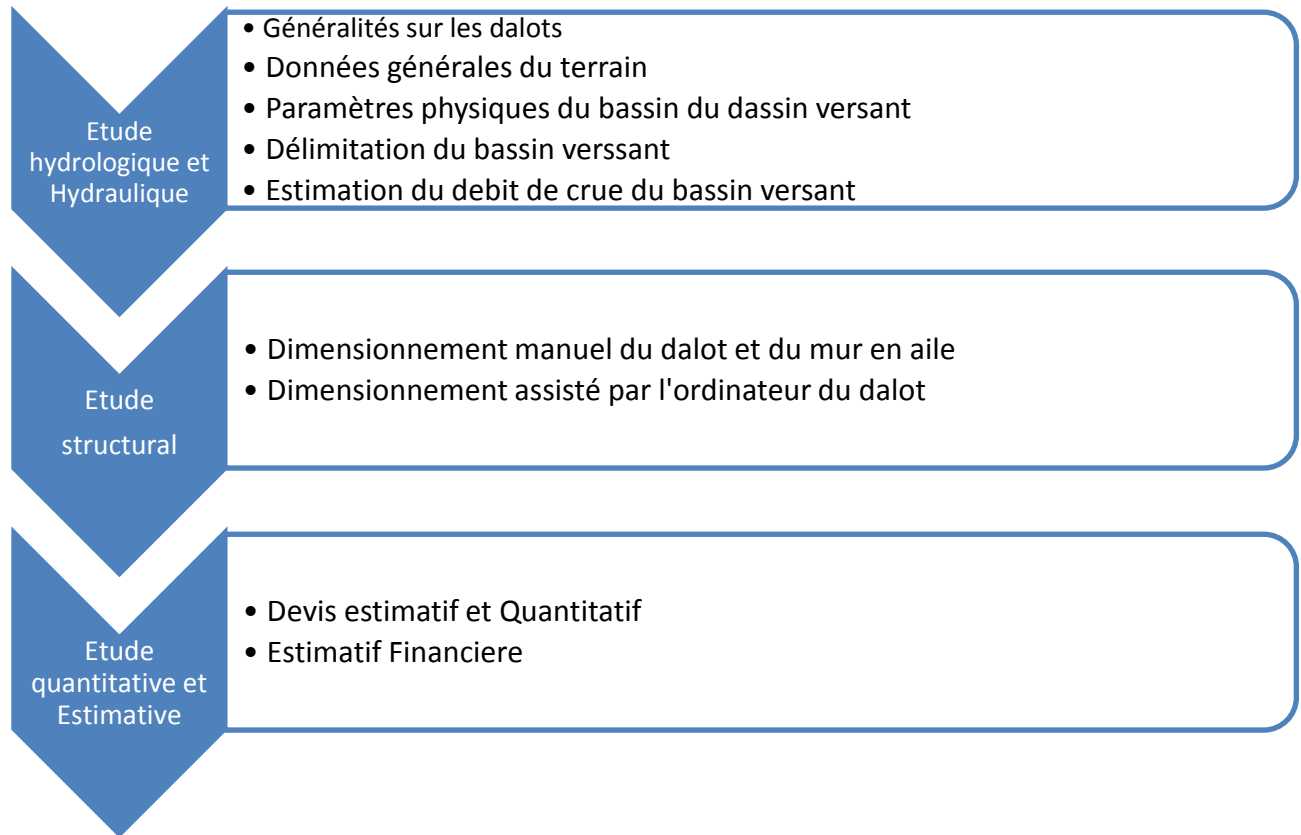
II.3. Matériels

Pour mener à bien l'étude, un certain nombre de matériels a été utilisé :

- ✓ Autocad est un logiciel avec lequel on a dessiné le schéma représentant les différentes surcharges routières, les diagrammes des efforts et moments, ainsi que les différents plans de ferrailage du dalot.
- ✓ CIPE est le logiciel utilisé pour le dimensionnement assisté à l'ordinateur
- ✓ Paint est un logiciel de retouche d'images avec lequel on a traité les différents images.

II.4. Méthodes

La méthodologie de l'étude se présente selon l'organigramme ci-dessous



II.4.1. Etude hydrologique et Hydraulique

De manière générale, les études hydrologiques et hydrauliques ont pour but de dimensionner les ouvertures nécessaires des ouvrages de passage d'eau et d'assainissement. Ces ouvrages protègent la route contre les dégradations dues aux eaux, et ce particulièrement, durant les périodes de crues importantes. Par ailleurs l'étude hydraulique ou encore dimensionnement hydraulique représente la partie dans laquelle le choix de l'ouvrage de franchissement ainsi que celui de ses dimensions s'effectuent. Ainsi, Il est important d'examiner les conditions hydrauliques d'écoulement (vitesse et ressauts) dans la conception d'ensemble des ouvrages, afin de diminuer les risques d'érosion et d'affouillement et donc la détérioration progressive de l'ouvrage.

II.4.1.1. Généralités sur les dalots

Encore appelés ponceaux, ce sont de petits ponts qui servent à franchir un cours d'eau ou un fossé sur une voie. Ils sont en béton armé et présentent une section rectangulaire ou carrée. Les dalots sont des ouvrages sous chaussée qui ne nécessitent obligatoirement aucun remblai : une circulation à même la dalle peut être envisagée moyennant des précautions lors de la construction. On distingue :

- ✓ Les dalots ordinaires constitués de piédroits (voile) verticaux fondés sur semelle ou radier général et sur lesquels repose une dalle en béton armé.
- ✓ Les dalots cadres dans lesquels la dalle, les piédroits et le radier constituent une structure rigide en béton armé. Ce sont des ponts-cadres.
- ✓ Les dalots portiques analogues aux dalots cadres mais sans radier (piédroits fondés sur semelles).

Les dalots sont en général adoptés pour des débits élevés dépassant $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Parfois il est nécessaire de juxtaposer plusieurs cadres pour former une batterie de dalots. Les données hydrauliques comme le débit, la hauteur des hautes eaux s'avèrent indispensables pour connaître le fonctionnement de l'ouvrage et fixer ses caractéristiques.

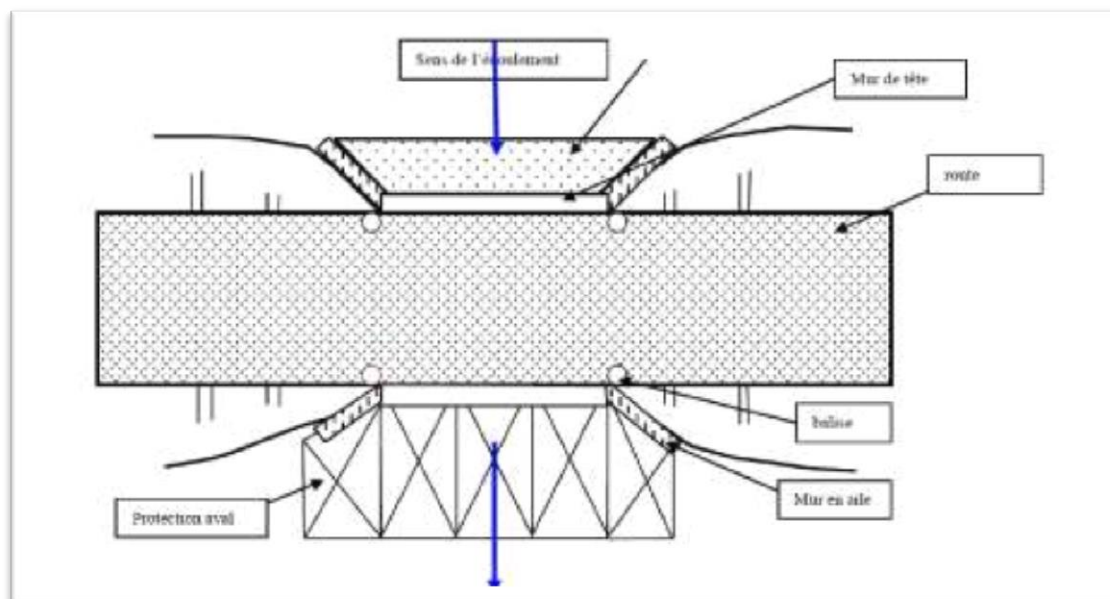


Figure 3: Vue en plan du dalot.

- **Les charges permanentes et routières**

Elles sont fixées par le règlement technique de charge sur les ponts : fascicule 61. On distingue les charges mortes, les charges routières, les charges sur trottoirs et pistes cyclables, les charges des remblais.

- **Les données géotechniques**

Elles sont fondamentales dans l'étude d'un ouvrage. Elles conditionnent le type de fondation et même le choix de la solution du franchissement projeté. Les études géotechniques renseignent sur la nature du terrain, le niveau de la nappe, la capacité portante du sol et le niveau d'ancrage des fondations.

- **Les données hydrauliques**

En dehors du relevé de la topographie, il convient de connaître les niveaux de l'eau, crue du projet, qui influent sur la conception générale du franchissement. Aussi, il y a lieu de prendre en compte la pression hydrostatique de l'eau sur les pieds droits. La connaissance des niveaux de l'eau n'est généralement pas suffisante. Certaines données purement hydrauliques peuvent être indispensables pour aborder l'étude d'un phénomène, correspondant à un danger réel pour les dalots : le phénomène d'affouillement.

II.4.1.2. Données générales du terrain

II.4.1.2.1. Topographie Générale

Le relief est peu marqué, globalement plat avec cependant, ponctuellement, quelques reliefs accidentés, caractérisés par des élévations de butes latéritiques.

On note également des dépressions et des bas-fonds surtout au droit des cours d'eau.

Le niveau altimétrique général du tracé de la route varie entre 292 m et 305m d'altitude, avec une moyenne de 300m.

II.4.1.2.2. Géologie et Sols

L'ensemble de la route à aménager figure sur un contexte géologique cristallin de roches très anciennes du précambrien D (Antébirrimien) composées de migmatites et de granités indifférenciés et de roches volcano-sédimentaires.

Ce type de roche confère à la zone une géomorphologie régulièrement plane et très stable, avec des cours d'eau étalés.

Les matériaux d'altération à la surface sont tantôt à dominance argileuse, tantôt à dominance sableuse, recouvrant la carapace latéritique en zone de plateau ; en relation avec la nature de la roche mère en présence.

II.4.1.2.3. La Végétation

La végétation rencontrée le long du tracé évolue d'une végétation de savane arbustive dans l'ensemble à une végétation arborée le long des cours d'eau importants.

La végétation est du type arbustive de plus en plus clairsemée, avec une prédominance très nette d'arbres à épineux. On rencontre toutefois des reliques de forêt long des cours d'eau et sur les zones de réserves.

II.4.1.2.4. Hydrographie

L'aridité du climat, l'insuffisance des pluies et les faibles pentes (inférieures à 1%) expliquent l'absence d'un réseau hydrographique marqué. Les écoulements se font généralement sur une grande largeur qui favorise l'étalement des eaux et l'amortissement des pointes des crues.

II.4.1.2.5. Climat

Le climat est d'une manière générale de type soudano sahélien caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison de pluies dont le rythme est déterminé par le déplacement du front intertropical (FIT).

Le pays de Burkina-Faso est divisé en trois sous zones climatiques appartenant toutes au régime sahélien:

- ✓ La zone soudanienne méridionale (au sud de la parallèle 11°30' N).
- ✓ La zone soudanienne septentrionale (entre la parallèle 11°30' N et 14°00' N).
- ✓ La zone sahélienne (au nord de la parallèle 14°00' N).

La route projetée Sabou-Koudougou-Dydir appartient à la zone climatique soudanienne septentrionale. Elle a une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 600 mm et 900 mm répartie sur 4 à 5 mois. Les précipitations de cette région sont souvent rares mais violentes (de forte intensité, dépassant 60 mm/h).

II.4.1.3. Etude hydrologique

II.4.1.3.1. Délimitation des bassins versants

Le bassin versant d'un point ou plus précisément dans la section droite d'un cours d'eau se définit comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de la dite section. Tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser l'exutoire avant de poursuivre leur trajet vers l'aval. Pour le tronçon de Sabou-Koudougou-Dydir, la délimitation des bassins versants a été effectuée pour tous les cours d'eau qui interceptent le tracé de la route. Ceci a été fait en se basant sur la carte 1/200 000ème pour les cours d'eau marquants (les grands bassins versants). Concernant les cours d'eau intermittents et non visualisés sur la carte 1/200 000ème, on a recouru aux cartes satellitaires.

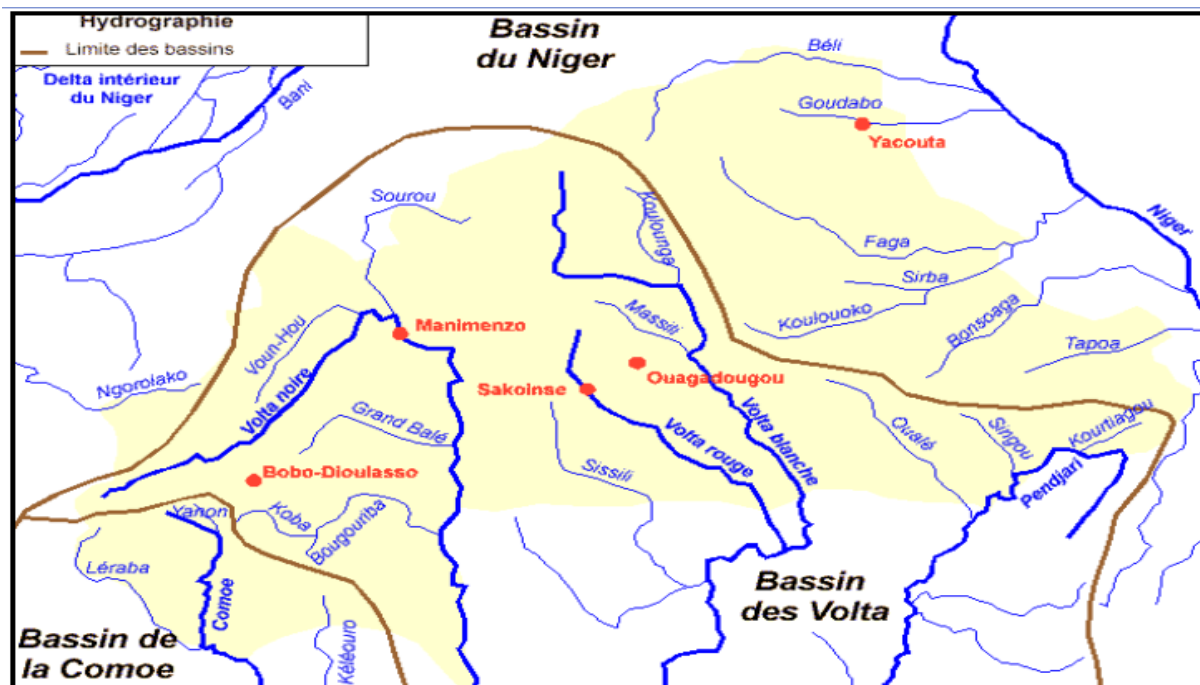


Figure 4: Principaux cours d'eau du Burkina-Faso et les bassins versants associés

II.4.1.3.2. Description du régime hydrologique des cours d'eau de la zone d'étude

Les cours d'eau de Burkina-Faso se rattachent à trois bassins versants principaux : le bassin de la COMOIE, le bassin des VOLTA et le bassin de NIGER (voir figure 4). La route Sabou-Koudougou-Dydir appartient au bassin versant des VOLTA. Ce bassin central couvre 120 000 km², soit les 2/3 du pays. Il réunit les cours d'eau suivants : La VOLTA blanche (ou le Nakambé), la VOLTA noire (ou le Mouhoun) et la VOLTA rouge (ou le Nazinon).

Les différents cours d'eau franchissant la route projetée sont les affluents du Mouhoun (ou la VOLTA noire). Le Mouhoun naît sur le plateau du sud-ouest à 550 m d'altitude. Sa pente très faible fait de sa vallée une vaste plaine inondable où se déroulent plusieurs méandres.

II.4.1.3.3. Détermination des paramètres physiques du Bassin versant

Les paramètres physiques du bassin versant désignent un ensemble de caractéristiques physiographiques, obtenues à partir de données cartographiques ou de mesures de terrain et donnent un certain nombre d'information sur ce dernier :

Les paramètres physiques du Bassin versant sont :

- **La superficie du BV (S)** exprimée en km²
- **Le périmètre du BV (S)** exprimée en km
- **La longueur du plus long cours d'eau du BV** exprimée en km
- **Indice de compacité (I_{comp})** appelé également coefficient de forme, correspondant au rapport du BV à celui d'un cercle de même superficie.

$$I_{comp} = 0,282 \times P \times S^{-1/2}$$

Avec P : Paramètre stylisé du BV en km

S : Superficie du BV en km²

- **Le rectangle équivalent (L)** : C'est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le BV. Sa longueur est donnée par l'expression suivante :

$$L = \sqrt{S} \times \left(\frac{I_{comp}}{1,128} \right) \times \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{I_{comp}} \right)^2} \right]$$

Avec L exprimé en km

I_{comp} est l'indice de compacité, sans dimension

S est la superficie du BV, exprimée en km²

- **L'indice global de pente (I_g)** : c'est l'indice caractérisant le relief d'un bassin. I_g est défini par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

I_g : exprimé en m/km

D : représente la dénivelée, exprimée en m, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles ; ces altitudes sont déterminées sur la courbe hypsométrique.

L : longueur du rectangle équivalent, exprimée en km.

- **La dénivelée spécifique (D_s)** : c'est le produit de l'indice global de pente par la racine carrée de la superficie du BV. Elle s'exprime en m et est indépendante en théorie de

l'aire du bassin. On peut distinguer différentes classes de relief en fonction de D_s .

$$D_s = I_g \times \sqrt{S}$$

Tableau 1: Classe des reliefs en fonction de la dénivelée spécifique (D_s)

Relief faible	$D_s < 50m$
Relief modéré	$50m < D_s < 100m$
Relief fort	$100m < D_s$

II.4.1.3.4. Estimation du débit de crue du bassin versant

Nous avons utilisé la méthode rationnelle pour l'estimation du débit de crue du bassin versant, en tenant compte de son domaine de validité :

- **Méthode rationnelle**

La méthode rationnelle s'applique aux bassins versants dont la superficie est inférieure à 4 km². Cette méthode a été développée au départ par PELTIER-BONNENFANT :

$$Q = 0,278 \times k_r \times I \times S$$

Q : Débit en m³/s

S : Superficie du BV en km²

K_r : Coefficient de ruissellement

0,278 : Coefficient correcteur

Il est admis que le débit maximum a lieu quand la durée de l'averse est égale au temps de concentration. En effet, le temps de concentration est le temps au bout duquel la particule la plus éloignée de l'exutoire va atteindre celui-ci. Ainsi, le débit à l'exutoire augmente du fait de la contribution de la précipitation des zones les plus éloignées. Quand tout le bassin aura contribué à l'écoulement, le débit connaîtra un palier, c'est le débit maximum pouvant être atteint.

Le temps de concentration peut être déduit de la formule de Ventura :

$$T_c = 72 \sqrt{\frac{S}{I}}$$

T_c : temps de concentration en minutes

S : surface du bassin versant en km^2

I : pente du bassin versant en %

Cette formule est préférée à celle de Ventura qui a été validée sur des bassins versants dont les pentes comprises entre 1 et 3% alors que la plus part des bassins étudiés sont extrêmement faibles.

Les intensités des pluies à utiliser sont déduites à l'aide des paramètres de MONTANA, déterminés par l'exploitation des courbes Hauteur-Durée-Fréquence de la station la plus proche de la zone d'étude. Ces courbes sont publiées par l'ORSTOM pour la station de Ouagadougou.

Les coefficients de MONTANA ajustés pour la fréquence décennale pour la station de Ouagadougou sont :

Tableau 2: Coefficient de Montana - Station Ouagadougou

Paramètres	Durée inférieure à 2heures		Durée supérieure à 2 heures	
	a	b	a	b
Station OUAGADOUGOU	72.48	0.6	86.4	0.94

Ainsi, pour une période de retour $T=10$ ans, l'intensité de la pluie est calculée par les équations suivantes :

$$\text{Pour } T_c < 2h ; I = 72,48 \times T_c^{-0,6}$$

$$\text{Pour } T_c > 2h ; I = 86,40 \times T_c^{-0,94}$$

Les coefficients de ruissellement K_r est déterminé à partir des abaques d'hydraulique

routièrè d'ORSTOM pour les régimes sahéliens subdésertiques.

Alors le débit pour une période de retour de 10 sera $Q_{10} = Q$

Q représente le débit trouvé par la méthode rationnelle

La crue de projet se détermine alors par la formule suivante :

$$Q_{\text{projet}} = C_{\text{passage}} \times Q_{10}$$

C_{passage} étant la capacité de passage

II.4.1.4. Etude hydraulique

L'étude hydraulique est la partie où le dimensionnement hydraulique se fait et représente la partie de l'étude dans laquelle le choix de l'ouvrage de franchissement ainsi que celui de ses dimensions s'effectuent.

L'ouvrage à dimensionner est un dalot qui existe déjà ; sa section hydraulique est jugée insuffisante et devra être redimensionnée afin de répondre aux conditions d'une route bitumée.

En connaissant le débit de projet, le nombre de travées et les dimensions de l'ouvrage (hauteur, épaisseur et largeur) sont effectuées sans calcul en tenant compte des normes afférentes des dalots.

Ainsi, le choix de ses éléments permet alors de calculer les paramètres tels que la section fictive A de l'ouvrage, le débit unitaire q ainsi que la section fictive V qui mettent fin à la partie prédimensionnement.

Ensuite, la profondeur d'eau en amont de l'ouvrage H sera déterminée, par le calcul des variables adimensionnelles Q^* et H^* ; ainsi que le calcul de la pente critique l_e après celui des variables adimensionnelles Q^* et l_e^* .

Enfin la détermination de la vitesse réelle d'écoulement V , en calculant les variables adimensionnelles Q^* et V^* met fin à la partie dimensionnement hydraulique.

Par ailleurs, Lorsque cette vitesse réelle d'écoulement V est inférieure ou égale à 3m/s le dimensionnement hydraulique est validé et l'on peut passer au dimensionnement structural de l'ouvrage. Sinon, le dimensionnement hydraulique est à reprendre afin d'obtenir une vitesse adéquate.

II.5. Calcul manuel du dalot avec mur en aile

II.5.1. Dalot

Cette partie consiste au calcul BA du dalot. Ainsi, Les épaisseurs, les hypothèses de calcul, les principes de calcul, ainsi que les sections d'aciers des différents éléments constitutifs du corps du Dalot qui sont :

- Tablier
- Pieds droits
- Radier

Le dalot a été calculé comme un cadre fermé et mené sur une tranche linéaire de 1 m.

II.5.1.1. Dimensions des épaisseurs du dalot

L'épaisseur du Dalot est sensiblement égale à $\frac{L}{32} + 0,125 = \frac{2}{32} + 0,125 = 0,1875 \text{ m} \cong 0,19 \text{ m}$

Prenons 0,25m pour des raisons de sécurité.

Epaisseur du tablier, du radier, des pieds droits	= 0,25 m
Hauteur des pieds droits	= 2 m
Portée de la travée	= 2 m
Ouverture hydraulique	= 2 m x 2 m
Guides roues en béton armé	= 0,25 m x 0,25 m
Largeur roulable L _r	= 7 m
Largeur chargeable L _c	= 7 m



- Coefficient de poussée K_a = 0,33
- Surcharge de remblai R = 10 kN/m²
- Contrainte admissible σ_{sol} = 0,15 MPa = 1,5 bars
- Nuance f_e = 400 MPa
- Acier haute adhérence (HA), classe Fe 400

➤ Règlements

- Le calcul du béton armé sera conduit suivant les règles du BAEL 91 révisées 99 ;
- Les surcharges routières prises en compte dans les calculs sont issues du Fascicule N° 61 (conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art) Titre II (programmes de charges et épreuves des ponts-routes) ;
- Le calcul des fondations sera mené suivant le fascicule N° 62 Titre V.

➤ **Matériaux**• **Béton**

Résistances caractéristiques

En compression : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$ En traction : $f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$ **Etat limite de service (ELS)**Contrainte admissible : $\sigma_{blim} = 0,6 f_{c28} = 15,00 \text{ MPa}$ • **Acier**

Acier haute adhérence (HA), classe Fe 400

Nuance fe = 400 MPa

Etat limite de service (ELS)

Fissuration préjudiciable

Contrainte admissible $\sigma_s = \min \{2/3 f_{e}; 110 \sqrt{\eta \times f_{t28}}\} \sigma_s = 215,55 \text{ MPa}$ ➤ **Sol de fondation**Densité des terres $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$ Coefficient de poussée $K_a = 0,33$ Surcharge de remblai $R = 10 \text{ KN/m}^2$ Contrainte admissible $\sigma_{sol} = 0,15 \text{ MPa} = 1,5 \text{ bars}$ ➤ **Classes de ponts**

Il est nécessaire pour la suite de notre travail de définir la classe de notre pont.

 $L_r = 7,00 \text{ m}$ $L_c = L_r - (0,5 \times 2) = 6,00 \text{ m}$ Nombre de voies = $L_c/3 = 2.33 \rightarrow$ nombre de voies = 2 voies.**Tableau 3: Classe des ponts en fonction de la largeur roulable**

Classe	L_r
I	$\geq 7 \text{ m}$
II	$5,5 < L_r < 7 \text{ m}$
III	$\leq 5,5 \text{ m}$

Comme $L_r = 7\text{m}$ alors le dalot est un pont de première classe.

➤ Etude du chargement

Charges permanentes

- Poids volumique du béton armé : densité de $25 \text{ KN} / \text{m}^3$,
- Poids volumique du remblai (γ) : 20 kg/m^3 avec une épaisseur de 20 cm ;
- Poussée des terres : un sol de densité égal à 20 KN/m^3 , angle de frottement de 30° ($K_a = 0,33$) a été considéré pour leur évaluation.

II.5.1.1.2. Surcharges

➤ Surcharges routières

Seules les surcharges B ont été considérées dans la justification. Compte tenu des longueurs de travées relativement petites, la surcharge A n'est pas applicable pour le calcul de ces ouvrages.

- **Système B**

- **Système Bc**

La surcharge dite Système Bc se compose de camions type comportant trois essieux, toutes les trois roues simples munies de pneumatiques, et répondant aux caractéristiques suivantes :

- Masse total : 30 t.
- Masse portée par chacun des essieux arrière: 12 t.
- Masse portée par l'essieu avant : 6 t.
- Longueur d'encombrement : 10.50 m.
- Largeur d'encombrement : 2.50 m.
- Distance des essieux arrière : 1.50 m.
- Distance de l'essieu avant au premier essieu arrière : 4.50 m.
- Distance d'axe en axe des deux roues d'un essieu : 2.00 m.
- Surface d'impact d'une roue arrière : carré de 0.25 m de côté.
- Surface d'impact d'une roue avant : carré de 0.20 m de côté.
- Toutes les autres dispositions du fascicule 61 – Titre II concernant le système Bc sont applicables (nombre de camions, disposition dans le sens longitudinal et transversal, coefficients bc).

Considérons les essieux arrière des deux (02) camions dans la situation la plus défavorable. En fonction de la classe du pont et du nombre de files considérées, les valeurs des charges du système Bc prises en compte sont multipliées par les coefficients bc du tableau suivant :

Tableau 4: Coefficient bc à affecter au système BC en fonction du nombre de files considérées et la classe de pont

Nombre de files considérées		1	2	3	4	> 5
Classe du pont	Première	1.20	1.10	0.95	0.80	0.70
	Deuxième	1.00	1.00	-	-	-
	Troisième	1.00	0.80	-	-	-

○ **Système Bt**

Le Système Bt qui se compose de camions type comportant deux essieux, toutes les deux roues simples munies de pneumatiques, et répondant aux caractéristiques suivantes :

- Masse portée par chaque essieu : 16 t.
- Distance des deux essieux : 1.35 m.
- Distance d'axe en axe des deux roues d'un essieu : 2.00 m.

En fonction de la classe du pont, les valeurs des charges du système Bt prises en compte sont multipliées par les coefficients bt suivants :

Tableau 5: Coefficient bt à affecter au système BT en fonction de la classe de pont

Classe du pont	Première	Deuxième
Coefficient	1.00	0.90

○ **Système Br**

Roue isolée de 100KN avec un impact de 0.30 x 0.60

➤ **Surcharge routières sur remblai**

Une surcharge verticale de 10 KN/m² appliquée sur la largeur de la plateforme a été considérée.

➤ Coefficient de majoration dynamique

Le coefficient de majoration dynamique appliqué aux charges du système B est :

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1 + 0.2L} + \frac{0.60}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

Avec L = longueur à franchir ; G = charge permanente et S = surcharge maximale parmi les surcharges du système B.

➤ Calculs des sollicitations

La structure présente une symétrie de chargement et de géométrie

En utilisant la méthode des 3 moments, on a le système d'équations suivant :

$$M_1 = M_3 \quad \text{et} \quad M_4 = M_6$$

$$M_{1-2} = M_{3-2} \quad \text{et} \quad M_{4-5} = M_{6-5}$$

$$M_{2-5} = M_{5-2} = 0$$

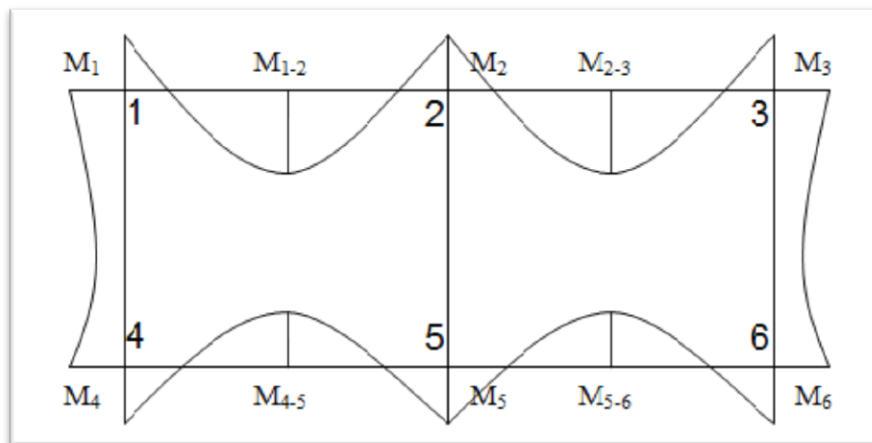


Figure 6: Diagramme des moments

La formule générale à utiliser pour les différents nœuds est :

$$L_i M_{i-1} + 2(l_i + l_{i+1}) M_i + l_{i+1} M_{i+1} = 6EI (\phi_{gAi} - \phi_{dAi})$$

➤ Equation des 3 moments relative au nœud 1

$$hM_4 + 2(h+l) M_1 + lM_2 = 6EI [((7P_4+8P_3)/360EI) h^3 + ((P_1+1,2P_5)l^3)/24EI]$$

➤ Equation des 3 moments relative au nœud 2

$$lM_1 + 2(l+h) M_2 + hM_5 = 6EI [((P_1+1,2P_5)l^3)/24EI + 0]$$

➤ **Equation des 3 moments relative au nœud 4**

$$lM_5 + 2(l+h)M_4 + hM_1 = 6EI \left[\frac{(P_2+1,2P_5)l^3}{24EI} + \frac{(8P_4+7P_3)h^3}{360EI} \right]$$

➤ **Equation des 3 moments relative au nœud 5**

$$hM_2 + 2(h+l)M_5 + lM_4 = 6EI \left[0 + \frac{(P_2+1,2P_5)l^3}{24EI} \right]$$

Après la détermination des inconnues des équations, on obtient les moments sur les travées par les formules suivantes :

$$M_{1-2} = M_0 - M_1 - \frac{M_2 - M_1}{2} \quad \text{et} \quad M_{4-5} = M_0 - M_4 - \frac{M_5 - M_4}{2}$$

$$M_{1-2} = \frac{(P_1 + P_5)l^2}{8} - M_1 - \frac{M_2 - M_1}{2} \quad \text{et} \quad M_{4-5} = \frac{(P_2 + P_5)l^2}{8} - M_4 - \frac{M_5 - M_4}{2}$$

Puis sur les pieds droits :

$$L'effort normal N = \frac{(P_1 + P_5)l}{2} + ep. * h * \gamma$$

$$\text{Le moment sur le pied droit } M_{\text{Piédroit}} = M_3 + \frac{(P_1 + P_5)l}{2} * (0,9 * ep. - \frac{ep.}{2})$$

➤ **Sections d'aciers et vérification**

La détermination des sections d'aciers, pour tous les éléments du dalot, est donnée par la formule suivante :

$$\text{Aciers principaux : } A_{\text{stx}} = \frac{M_{ax}}{z \cdot \sigma_{st}}$$

$$\text{Aciers de répartition : } A_{\text{sty}} = \frac{1}{4} A_{\text{stx}}$$

Ainsi après la détermination des sections d'aciers ; plusieurs conditions devront être vérifiées afin de s'assurer que le choix des aciers répond aux normes.

- Au niveau du **béton** : $\sigma_b \leq \sigma_{b\text{lim}} = 0,6 f_{c28}$ avec $\sigma_b = \frac{M_{\text{ser}}}{I_{\text{ser}}} y_{\text{ser}}$
- Au niveau de l'**acier** : $\sigma_s \leq \sigma_{s\text{lim}}$ avec $\sigma_s = n \frac{M_{\text{ser}}}{I_{\text{ser}}} (d - y_{\text{ser}})$
- Pour la **condition de fragilité** : $\frac{A_{st}}{b_0 d} \geq 0,23 \frac{f_t}{f_e}$

II.5.2. Mur en aile

➤ **Description de l'ouvrage**

Le mur en aile se repose sur une semelle et sera dimensionné comme un mur de soutènement.

➤ **Prédimensionnement des épaisseurs**

$$a = \frac{D}{H} = 0 \text{ car il y'a absence de talus}$$

$$e_0 = 25\text{cm (épaisseur en tête du mur)}$$

Sur l'abaque 5.2 de l'annexe 1, correspondant à l'angle de frottement interne $\varphi = 30^\circ$, on lit les épaisseurs e_1 et e_2 du mur en aile qui sont égales.

La courbe minimale sur l'abaque est pour $H=4\text{m}$, or la hauteur totale du mur en aile est $H=2,5\text{m}$ par conséquent on projettera sur la courbe minimale.

Ainsi en projetant pour $H= 4 \text{ m} \rightarrow e_1 = e_2 = 0,235\text{m}$

Donc pour $H=2,5\text{m} \rightarrow e_1 = e_2 = 0,235\text{m}$

➤ **Prédimensionnement de la semelle**

Sur l'abaque 5.4 de l'annexe 1 correspondant à $a = \frac{D}{H} = 0$, les dimensions b_1 et b de la semelle sont lu, elles sont respectivement la largeur du patin et celle de la semelle en fonction de la contrainte du sol.

- **Largeur du patin**

$$\text{Pour } H=2\text{m} \rightarrow b_1=0,111\text{m}$$

$$\text{Pour } H=4\text{m} \rightarrow b_1=0,528\text{m}$$

$$\text{D'où pour } H=0,215\text{m}$$

- **Largeur de la semelle**

$$\text{Pour } H=2\text{m} \rightarrow b=0,389\text{m}$$

$$\text{Pour } H=4\text{m} \rightarrow b=0,986\text{m}$$

$$\text{D'où pour } H=2,5\text{m} \rightarrow b=0,538\text{m}$$

Il est prudent de majorer de 15% la largeur de la semelle ainsi déterminée, car elle ne permet pas toujours de satisfaire les vérifications de la stabilité externe.

$$b_{\text{corrigé}} = 0,538 \times 1,15 = 0,62\text{m}$$

Avec $b=0,62\text{m}$, la stabilité du mur externe du mur n'est pas vérifiée donc, on prendra

$b=1,5\text{m}$ afin d'assurer une meilleur stabilité du mur en aile

➤ Représentation de l'ouvrage



Figure 7: Schéma représentatif du mur en aille

➤ Hypothèse de calcul

Hauteur totale	$H = 2,50 \text{ m}$
Cohésion	$C = 0$
Coefficient de poussée de terre	$K_a = 0,333$
Angle de frottement interne	$\varphi = 30^\circ$
Parement lisse	$\delta = 0$
Différence épaisseur du voile	$\lambda = 0$
Poids volumique des terres	$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$
Contrainte admissible du sol	$\sigma_s = 0,15 \text{ Mpa}$

➤ Principes et méthodes de calcul des sollicitations

Les calculs seront menés par bande de 1m de mur de soutènement ($b=1\text{m}$) tout comme le dalot.

Après la vérification de la stabilité du mur ; le mur sera divisé en deux grandes parties à savoir le voile et la semelle pour le calcul des sollicitations jusqu'à la détermination des armatures.

III.6. Calcul assisté à l'ordinateur du dalot et du mur en aile

Le logiciel utilisé pour le calcul du dalot est CYPE 2012. C'est un software destiné au projet de construction en acier et en béton. Il permet l'analyse spatiale, le dimensionnement de tous les éléments structuraux, l'édition des armatures et des sections et l'obtention des plans de construction de la structure.

CYPE a été conçu pour le calcul des efforts et le dimensionnement des structures en béton armé et métalliques comprenant des planchers unidirectionnels de poutrelles (génériques, armées, précontraintes, in situ, métallique d'âme pleine et en treillis), des plaques allégées, des planchers mixtes, des planchers bidirectionnels réticulés et des planchers dalles pour des constructions soumises à des actions verticales et horizontales. Les poutres des planchers peuvent être en béton, métalliques ou mixtes (acier et béton). Les éléments porteurs peuvent être en béton armé ou métalliques, des voiles en béton armé, des murs en béton armés avec ou sans poussés horizontales ou des murs de maçonnerie (génériques ou bloc en béton). La fondation peut être fixe (semelles superficielles ou sur pieux) ou flottante (longrines ou radiers). La fondation peut être calculée séparément en introduisant seulement des amorces de poteaux.

CYPE fournit des plans de dimensions et des armatures des étages, des poutres, des poteaux, des voiles et des murs par ploter, imprimante et fichier DXF/DWG ainsi que les listes des données et les résultats de calcul.

Avec CYPE, le projeteur a en main un outil précis et efficace pour la résolution de tous les aspects relatifs au calcul des structures en béton de tout type.

II.6.1. Norme et matériaux

Norme: BAEL-91 (R-99) (France)

Béton: B25

Acier des barres: Fe 400

Enrobage extérieur: 3.0 cm

Enrobage intérieur: 3.0 cm

II.6.2. Géométrie

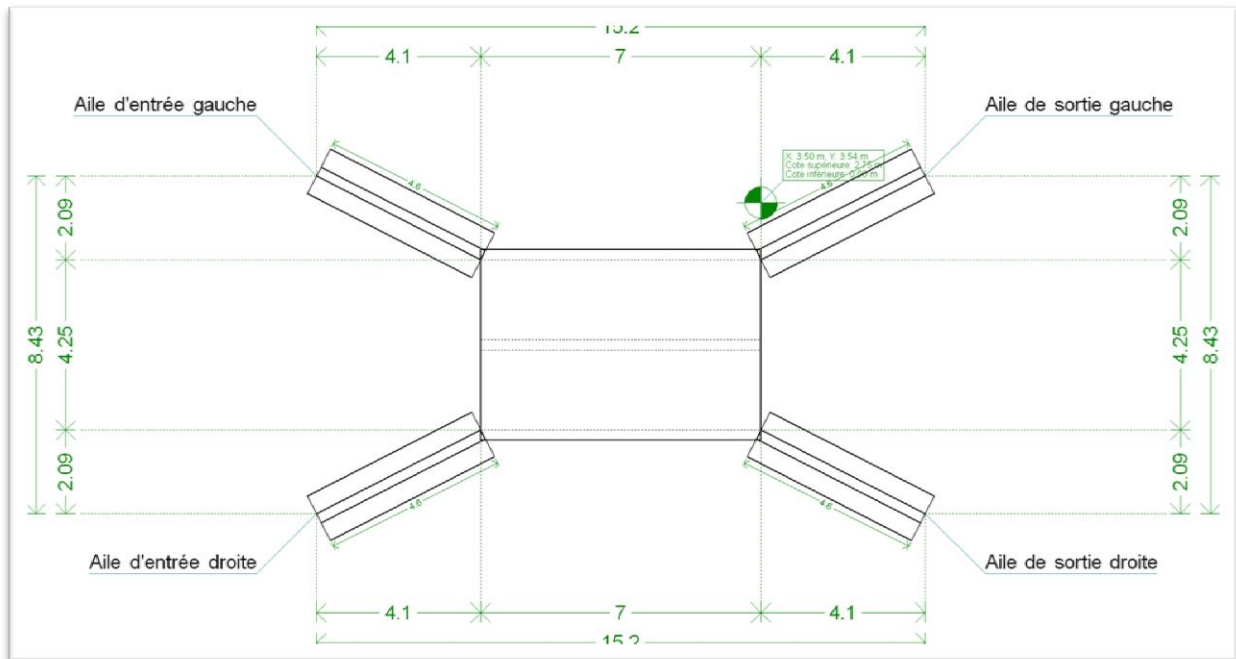


Figure 8: Géométrie du dalot sur CYPE

II.6.3. Méthode de calcul

Le modèle de calcul utilisé consiste en éléments finis triangulaires du type lamelle épaisse tridimensionnelle, qui considère la déformation par l'effort tranchant. Chaque élément est constitué de six nœuds, aux sommets et aux milieux des côtés, avec six degrés de liberté chacun. Le maillage du pont-cadre est réalisé en fonction de ses dimensions (épaisseur et portée). Sur chaque nœud, après une analyse élastique et linéaire, huit efforts sont obtenus, avec lesquels la section de béton et l'armature sont dimensionnées et vérifiées. A partir des déplacements sont vérifiés la flèche, les pressions sur le terrain, le soulèvement du radier, etc.

II.7. Devis quantitatif et estimatif

Le devis quantitatif d'un ouvrage est le détail des quantités de matériaux nécessaires à la mise en œuvre de cet ouvrage. Il représente les quantités de matériaux en termes de distance; de surface et de volume des différents matériaux utilisés pour la construction des ouvrages.

Le devis estimatif, élaboré à partir du devis quantitatif permet d'avoir une idée du coût des ouvrages élémentaires constituant un ensemble, et donc de déterminer le coût global de l'ouvrage. Il est obtenu à partir du devis quantitatif et des prix unitaires des différents

éléments.

En effet, il faut noter que le mercuriale du BTP a été utilisé pour estimer les Quantités et les prix.

III. Résultats

III.1. Paramètres physique du bassin versant

Le tableau ci-dessous récapitule les paramètres physiques du bassin versant.

Tableau 6: Paramètre physique du bassin versant

Désignations	Formules	Unités	Résultats
Superficie du BV	S	km ²	3,02
Périmètre du BV	P	km	7
Indice de compacité	$I_{Comp} = 0,282 \times P \times S^{-1/2}$		1,14
Longueur du rectangle équivalent	$L = \sqrt{S} \times \left(\frac{I_{comp}}{1,128} \right) \times \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{I_{comp}} \right)^2}$	km	1,96
Largeur du rectangle équivalent	$l = \frac{S}{L}$	km	1,54
Altitude avec 5% de la surface au-dessus		m	320
Altitude avec 95% de la surface au-dessus		m	309
Dénivelé entre 5% et 95% de la surface		m	11
Indice global de pente	$I_g = \frac{D}{L}$	m/km	5,60
Dénivelée spécifique	$D_S = I_g \times \sqrt{S}$	m	9,75

III.2. Crue de projet

Le tableau ci-dessous représente le récapitulatif des calculs de la crue de projet

Tableau 7: Crue de projet

Désignations	Formules	Unités	Résultats
Superficie du BV	S	Km ²	3,02
Coefficient de ruissellement	k_r		25,56
Coefficient correcteur			0,278
Capacité de passage	C_{passage}		1,52
Pente du BV	I	%	0,50
Temps de concentration	$T_C = 72\sqrt{\frac{S}{I}}$	h	2,94
Intensité pour une période de retour de 10 ans	$I = 86,40 \times T_C^{-0,94}$	mm/h	31,40
Débit pour une période de retour de 10 ans	$Q_{10} = 0,278 \times k_r \times I \times S$	m ³ /s	6,74
Débit de Crue de projet retenu	$Q_{\text{Projet}} = C_{\text{passage}} \times Q_{10}$	m ³ /s	10,25

III.3. Dimensionnement hydraulique

Le tableau suivant représente le récapitulatif du dimensionnement hydraulique :

Tableau 8: Dimensionnement hydraulique

Désignation	Formules	Unités	Résultats
Débit de projet retenu	$Q_{\text{projet}} = C_{\text{passage}} \times Q_{10}$	m ³ /s	10,25
1-Prédimensionnement de l'ouvrage			
Nombre de travées	N	U	2
Hauteur fictive	D	m	2
Largeur fictive	B	m	2
Section fictive	A= D x B	m ²	4
Débit unitaire	$q = \frac{Q_{\text{projet}}}{N}$	m/s	5,125
Vitesse fictive	$V = \frac{q}{A}$	m/s	1,28
2 - Détermination de la profondeur d'eau en amont de l'ouvrage			
Calculs des variables adimensionnelles Q* et H*			
Q*	$Q^* = \frac{q}{B \times D \times \sqrt{2 \times g \times D}}$	m ³ /s	0,2
H ₁ *	<i>Par la lecture de l'abaque de la figure 77 joint en annexe 2</i>	m	0,75
Calcul de la profondeur en amont de l'ouvrage			

H_1	$H_1 = H_1^* \times D$	m	1,5
3-Détermination de la pente critique I_C			
Calculs des variables adimensionnelles Q^* et I_C^*			
Q^*	$Q^* = \frac{q}{\sqrt{g \times B^5}}$	m^3/s	0,3
I_C^*	Par la lecture de l'abaque de la figure 82 joint en annexe 2		3,1
Calcul de la pente critique			
I_C	$I_C = I_C^* \times \frac{g}{K^2 \times D^{1/2}}$		0,0015
4-Détermination de la vitesse réelle d'écoulement			
Calculs des variables adimensionnelles Q^* et V^*			
Q^*	$Q^* = \frac{q}{K \times I_{C1/2} \times B^{8/3}}$	m^3/s	0,31
V^*	Par la lecture de l'abaque de la figure 84 joint en annexe 2	m/s	0,35
Calcul de la vitesse réelle d'écoulement			
V	$V = V^* \times K \times I_C^{1/2} \times B^{2/3}$	m/s	1,44

La vitesse réelle de l'écoulement étant égale à $1,44 \text{ m}^3/\text{s}$ inférieure à $3 \text{ m}^3/\text{s}$ alors le dimensionnement hydraulique est accepté, c'est-à-dire, les dimensions du dalot (largeur, hauteur sont acceptable).

III.4. Résultats du calcul manuel du Dalot avec mur en aile

➤ Dalot

a- Descente de charges

○ Dalle supérieure

$$\text{Poids propre du remblai} : 0,20 \times 20 = 4,00 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Poids propre de la dalle} : 0,25 \times 25 = 6,25 \text{ KN/m}^2$$

$$\mathbf{P1} = 10,25 \text{ KN/m}^2$$

○ Radier de fondation

$$\text{P1 (Dalle supérieure + Remblai)} = 10,25 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Piédroits : } [(0,25 \times 2 \times 25 \times 3) \times 1/4,75] = 7,89 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Poids propre radier : } 0,25 \times 25 = 6,25 \text{ KN/m}^2$$

$$\mathbf{P2} = 22,42 \text{ KN/m}^2$$

○ Piédroits

$$\text{Surcharge du remblai : } Q = 10 \text{ KN/m}^2 \quad K_a = 0,33 \quad \delta q = 1,20$$

$$\text{P3} = 20 \times 0,25 \times 0,333 + 10 \times 1,20 \times 0,333 = 5,661 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{P4} = 20 \times 2,25 \times 0,333 + 10 \times 1,20 \times 0,333 = 18,981 \text{ KN/m}^2$$

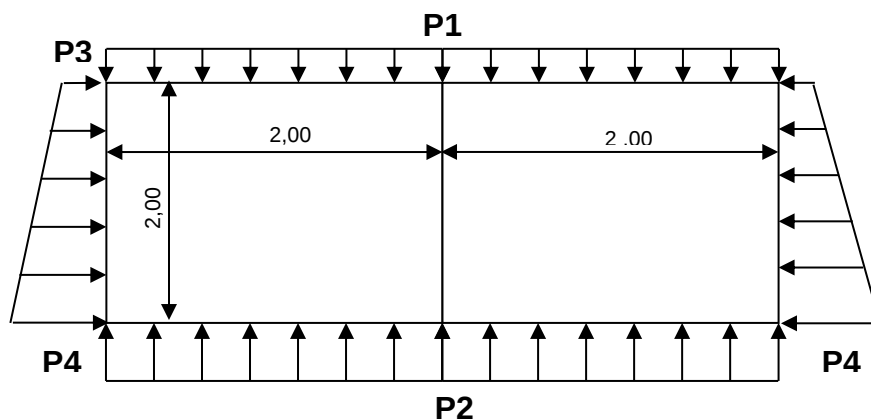


Figure 9:Modélisation charges permanentes

b- Surcharges

○ Système Bc

Considérons les essieux arrière des 2 camions dans la situation la plus défavorable.

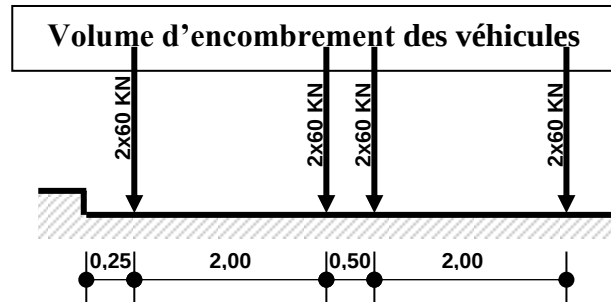


Figure 10: Disposition des camions Bc dans le sens transversal

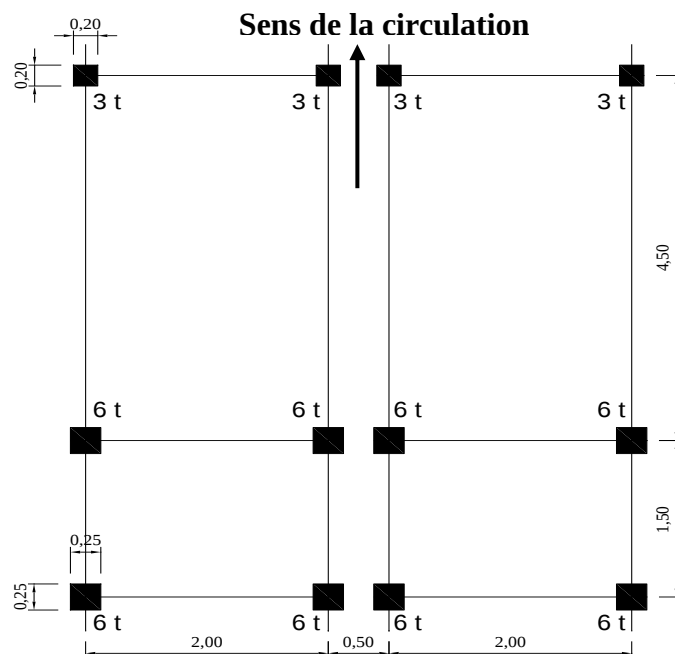


Figure 11: Vue en plan de 2 camions Bc côte à côte

$$t_x = 1,50 + 2 \times 0,25 + 2 \times 0,25 = 2,50 \text{ m}$$

$$t_y = 4,50 + 2 \times 0,25 + 2 \times 0,25 = 5,50 \text{ m}$$

Coefficient à affecter au système Bc. $B_c = 1,10$

Coefficient de majoration dynamique

$$\delta = 1 + \frac{0,40}{1 + 0,2L} + \frac{0,60}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

$$L = 2,00 \text{ m} \quad S = 60 \times 8 \times 1,10 = 528 \text{ KN} \quad G = 10,25 \times 2 \times 7,00 = 143,5 \text{ KN}$$

$$\text{Soit } \delta = 1,526$$

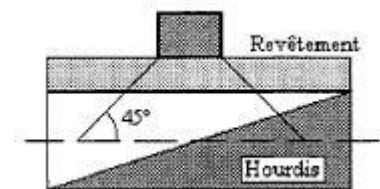


Figure 12: Angle du revêtement

P5 représente la charge d'exploitation de la dalle et P5' celle du radier :

$$P5 = [(480 \times 1,10) / (2,50 \times 5,5)] \times 1,526 = 58,60 \text{ KN/m}^2$$

$$P5' = [(480 \times 1,10) / (4,25 \times 7,00)] \times 1,526 = 27,08 \text{ KN/m}^2$$

○ Système Bt

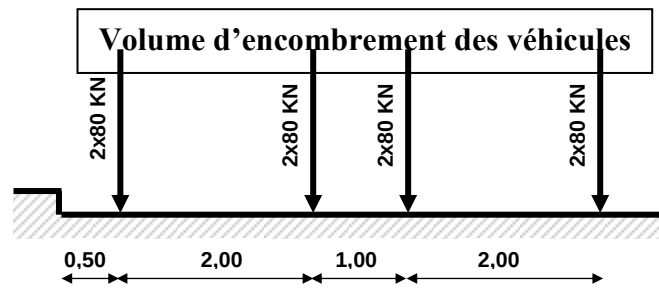


Figure 13: Chargement Bt 2 voies, Dalot simple

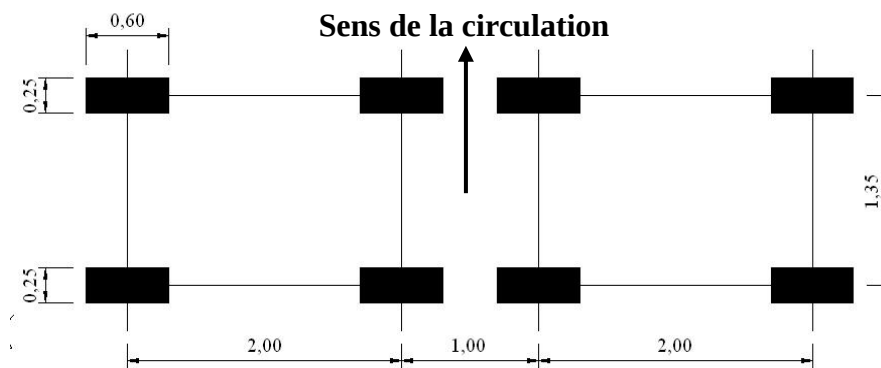


Figure 14: Vue en plan deux (02) tandems

$$t_x = 1,35 + 2 \times 0,25 + 2 \times 0,25 = 2,35 \text{ m}$$

$$t_y = 5 + 2 \times 0,30 + 2 \times 0,30 = 6,2 \text{ m}$$

$$L = 2\text{m} \quad S = 80 \times 8 = 640 \text{ KN} \quad G = 10,25 \times 2 \times 7,00 = 143,5 \text{ KN}$$

$$\delta = 1,602$$

P₅ représente la charge d'exploitation de la dalle et P_{5'} celle du radier :

$$P_5 = [(640 \times 1,00) / (2,35 \times 6,2)] \times 1,602 = 70,37 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{5'} = [(640 \times 1,00) / (4,25 \times 7,00)] \times 1,602 = 34,46 \text{ KN/m}^2$$

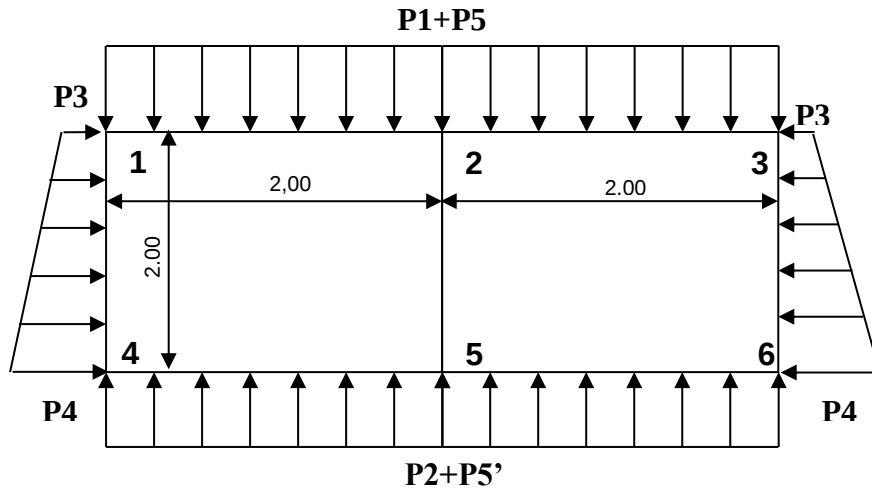


Figure 15: Représentation des charges

Système	P5 (KN/m ²)	P5' (KN/m ²)
Bc	58,60	24,62
Bt	70,37	34,46

Le système Bt est le cas le plus défavorable.

c- Contraintes sur le terrain

$$\sigma_{sol} = P2 + P5' + 0,25 \times 25$$

$$= 22,42 + 34,46 + 0,25 \times 25 = 63,13 \text{ KN/m}^2$$

$\sigma_{sol} = 0,63 \text{ bar} < 1,5 \text{ bars}$ OK

Equation des 3moments relative au nœud 1

$$2M_4 + 8M_1 + 2M_2 = 213.138$$

Equation des 3moments relative au nœud 2

$$2M_1 + 8M_2 + 2M_5 = 189.388$$

Equation des 3moments relative au nœud 4

$$2M_5 + 8M_4 + 2M_1 = 153.074$$

Equation des 3moments relative au nœud 5

$$2M_2 + 8M_5 + 2M_4 = 127.544$$

La résolution des quatre équations des trois moments donne les résultats suivants :

$$M_1 = M_3 = 19.47 \text{ KN m/m}$$

$$M_2 = 16.61 \text{ KN m/m}$$

$$M_4 = M_6 = 12.07 \text{ KN m/m}$$

$$M_5 = 8.77 \text{ KN m/m}$$

$$M_{1-2} = M_{3-2} = 22.27 \text{ KNm/m}$$

$$M_{4-5} = M_{6-5} = 35.975 \text{ KN m/m}$$

$$M_{2-5} = M_{5-2} = 0$$

Les efforts appliqués sur les pieds droits sont :

$$N = 107,300 \text{ KN et } M_{\text{Piedroit}} = 26,295 \text{ KNm/m}$$

Tableau 9: Récapitulatif des moments, des sections d'aciers et leurs espacements

PARTIE D'OUVRAGE	TABLIER			RADIER			PIEDROITS
Caractéristiques	b = 1,00m h = 25 cm			b = 1,00m h = 25 cm			b = 1,00 m h = 25 cm
Section	Section médiante	Section sur appui central	Section sur appui de rive	Section médiante	Section sous appui central	Section sur appui de rive	Flexion composée
Moment (kNm/ml)	22,27	16,61	19,47	35,975	8,77	12,07	26,295
Acier nécessaire (cm ²)	7,92	5,50	5,50	10,18	4,71	3,39	7,92
Aciers principaux	HA 12 e = 16 cm	HA10 e = 15 cm	HA 10 e = 15 cm	HA 12 e = 10 cm	HA10 e = 15 cm	HA 10 e = 33 cm	HA 12 e = 15 cm
Répartition	HA 8 e = 25 cm	HA 8 e = 33cm	HA 8 e = 33 cm	HA 8 e = 25 cm	HA 8 e = 50 cm	HA 8 e = 50 cm	HA 10 e = 25 cm

Le détail de calcul du dalot est joint en annexe 3

➤ Mur en aile

Les tableaux et ci-dessous représente respectivement un récapitulatif des efforts, sollicitations que subissent la structure du mur en aile et les sections des armatures.

Tableau 10: Sollicitations et efforts appliquées sur le mur en aile

Sections	S1	S2	S3	S4	S5
X(m)	h=2,25	2h/3=1,5	h/2=1,125	f=1	g=0,5
V(x)(KN)	24,35	12,49	7,96	-	-
M(x)(KN.m)	20,25	7,49	3,69	13,18	19,5
N(x)(KN)	14,06	9,38	7,03	80,12	80,12
e=M/N	1,44	0,80	0,53	-	-

Tableau 11: Sections d'armatures par parties d'ouvrage

Parties d'ouvrage	Surface élémentaires	Sections d'acier (cm ²)	
		Totalisant	Sections
Voile	S ₁	6,79cm ²	6HA12
	S ₂	3,39cm ²	3HA12
	S ₃	3,39cm ²	3HA12
Semelle	Talon S ₄	3,39cm ²	3HA12
	Patin S ₅	3,39cm ²	3HA12

Le calcul détaillé du mur en aile est joint en annexe 4

III.5. Résultat du calcul assisté par l'ordinateur du Dalot avec mur en aile

Les tableaux ci-dessous représentent respectivement le récapitulatif de l'armature du dalot et du mur en aile.

Tableau 12: Description de l'armature du dalot

Panneau	Position	Direction	Armature de base
Tablier	Supérieur	Longitudinal	HA10e=25, patte d'ancrage=35cm
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA10e=25, patte d'ancrage=18cm
	Inférieur	Longitudinal	HA10e=25, patte d'ancrage=35cm
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA10e=25, patte d'ancrage=11cm
Radier	Inférieur	Longitudinal	HA12e=25, patte d'ancrage=42cm

Panneau	Position	Direction	Armature de base
	Supérieur	Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12e=25, patte d'ancrage=25cm
		Longitudinal	HA12e=25, patte d'ancrage=42cm
		Transversal Perpendiculaire au piédroit droit	HA12 e=25, patte d'ancrage=13cm
Piédroit gauche	Arrière	Vertical	HA10 e=25, patte d'ancrage=18cm - Attente=0.21 m - Longueur patte d'ancrage en pied=18 cm
		Horizontal	HA10 e=20, patte d'ancrage=35cm
	Avant	Vertical	HA10 e=25, patte d'ancrage=11cm - Attente=0.21 m - Longueur patte d'ancrage en pied=11 cm
		Horizontal	HA10 e=20, patte d'ancrage=35cm
Piédroit droit	Arrière	Vertical	HA10 e=25, patte d'ancrage=18cm - Attente=0.21 m - Longueur patte d'ancrage en pied=18 cm
		Horizontal	HA10 e=20, patte d'ancrage=35cm
	Avant	Vertical	HA10 e=25, patte d'ancrage=11cm - Attente=0.21 m - Longueur patte d'ancrage en pied=11 cm
		Horizontal	HA10 e=20, patte d'ancrage=35cm
Mur intermédiaire	Gauche	Vertical	HA10 e=25, patte d'ancrage=11cm - Attente=0.21 m - Longueur patte d'ancrage en pied=11 cm
		Horizontal	HA10 e=20, patte d'ancrage=35cm
	Droite	Vertical	HA10 e=25, patte d'ancrage=11cm - Attente=0.21 m - Longueur patte d'ancrage en pied=11 cm
		Horizontal	HA10 e=20, patte d'ancrage=35cm

Tableau 13: Récapitulatif mur en aile de sortie droite

Armature horizontale: HA10 e=20	
Armature longitudinale inférieure: HA12 e=25, patte d'ancrage=13cm	
Armature longitudinale supérieure: HA12 e=25, patte d'ancrage=13cm	
Armature verticale	Armature semelle

Armature horizontale: HA10 e=20 Armature longitudinale inférieure: HA12 e=25, patte d'ancrage=13cm Armature longitudinale supérieure: HA12 e=25, patte d'ancrage=13cm	
Armature verticale	Armature semelle
Armature verticale arrière: HA10 e=20 - Recouvrement =0.40m - Patte d'ancrage =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant: HA12 e=25 - Recouvrement =0.30m - Patte d'ancrage =20cm - Ancrage face supérieure =0.13m	Transversal inférieur: HA12 e=25 Transversal supérieur: HA12 e=25

Les autres murs en aile ont les mêmes sections que le mur en aile d'entrée de sortie droite.

III.6. Estimation du cout de l'ouvrage

Au terme du devis quantitatif et estimatif le cout global de l'ouvrage obtenu est détaillé dans le tableau ci-dessous :

Tableau 14: Récapitulatif de l'estimation de l'ouvrage

Désignations	Montants hors taxes en FCFA TTC
Installation générale de chantier	22 250 000
Travaux préparatoires	1 922 100
Terrassements généraux	9 508 125
Ouvrage de franchissement : 2 ouvertures	16 730 080
Montant total hors taxes	50 410 350
TVA au taux de 18%	9 073 855
Montant TTC	59 484 205

Le détail de l'estimation de l'ouvrage est joint en annexe 5

IV. Discussions et Analyses

Les deux méthodes de dimensionnement du dalot ont permis d'avoir les types d'aciers à utiliser pour la mise en œuvre de corps de l'ouvrage à savoir le tablier, le radier, les pieds droits et les murs en aile.

Tous les récapitulatifs des aciers sont donnés dans les tableaux ci-dessous selon chaque

méthode utilisé.

Tableau 15: Types d'aciers donné par le calcul manuel

Ouvrages	Aciers principaux	Aciers de répartition	Quantité d'acier		
Tablier	HA10 / HA12	HA8	HA12	HA10	HA8
Radier	HA10 / HA12	HA8			
Pieds droits	HA12	HA12			
Mur en aile	HA12	HA8	553,4	1496,8	425,9
Total longueur			2476,1		

Les résultats du calcul manuel donnent des aciers variant du HA8 au HA12.

Tableau 16: Types d'aciers donné par le logiciel CYPE

Eléments	Aciers principaux	Acier de répartition	Quantité d'aciers	
Tablier	HA10	HA10	HA10	HA12
Radier	HA12	HA12		
Pieds droits	HA10	HA10		
Mur en aile sur semelle	HA10 / HA12	HA10	1353,63	1120,44
Total longueur	-	-	2474,07m	

Les résultats du logiciel donnent des aciers variant du HA10 au HA12.

Les deux méthodes de dimensionnement ont permis d'aboutir à peu près aux mêmes résultats de ferrailage. En effet, le calcul manuel et le logiciel CYPE présente chacune une particularité qui ne permet pas évidemment d'avoir forcément les mêmes résultats.

Aussi vieille que le monde, le calcul manuel a toujours été le recours de l'homme pour la résolution de beaucoup de problèmes. Ainsi, dans le génie civil, calculer un ouvrage hydraulique soit même demande beaucoup de domaines d'activités à maîtriser. En d'autres termes, il faut avoir des connaissances requises dans le domaine de la géotechnique, de la résistance des matériaux, de la construction métallique ; savoir résoudre des équations et lire les plans architecturaux ainsi qu'une maîtrise de l'interprétation des plans de ferrailage. En plus de disposer de beaucoup de temps pour dimensionner un ouvrage de franchissement sans oublier les conditions de vérification à faire, en plus il faut être très attentif quant à résolution des équations , à la manipulation de la calculatrice car une petite erreur peut jouer sur une

condition de vérification.

Le logiciel CYPE utilisé pour la deuxième méthode de dimensionnement semble facile à utiliser ; il donne tous les détails de calculs, les conditions de vérification, les plans d'exécutions en si peu de temps qu'on se demande s'il est vraiment efficace. En utilisant CYPE, il donne une facilité d'utilisation en guidant son utilisateur. On remarque que celui n'a pas besoin de beaucoup de connaissances requises pour l'utiliser, il lui suffit de savoir utiliser un ordinateur et suivre une formation avec quelqu'un qui connaît déjà CYPE. CYPE peut fournir tous les résultats c'est-à-dire depuis les normes, les moments, les efforts, les sections d'aciers, les quantités d'aciers jusqu'aux plans d'exécutions de l'ouvrage en quelques minutes ; mais il ne répond pas toujours au besoin de son utilisateur. Pour exemple CYPE ne peut pas calculer le mur en aile sur le radier général. En effet le logiciel est conçu de manière à dimensionner un dalot avec mur en aile sur semelle et contraint son utilisateur à accepter certaines fonctions sans avoir le choix de modifier.

A la lumière de ce qui précède, il ressort que le dimensionnement avec le logiciel est beaucoup plus adapté de nos jours.

V. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce travail a consisté à faire le dimensionnement structural d'un dalot en utilisant la méthode rationnelle et le logiciel CYPE. L'application de ces deux méthodes de dimensionnement a donné approximativement les mêmes types d'aciers à utiliser et les mêmes types de quantité. Avant d'aboutir au dimensionnement structural de l'ouvrage de franchissement, plusieurs études ont été menées. On a l'étude hydrologique, dans laquelle les paramètres physiques du bassin versant sont définis et le débit de la crue de projet égale à $10,25\text{m}^3/\text{s}$ pour une période de retour de 10 ans est trouvé par la méthode rationnelle.

Ainsi avec la crue de projet, on est passé au dimensionnement hydraulique où les dimensions de l'ouvrage ont été redéfinies à une section de $2\text{x}2\text{x}2$. En effet, le dalot existait déjà mais sa section était jugée insuffisante et devra être augmentée pour répondre aux conditions aux exigences d'une route bitumée moderne. Le dalot de section $2\text{x}2\text{x}2$ représente l'ouvrage sur le tronçon Sabou-Koudougou-Dydir à dimensionné manuellement et avec CYPE en utilisant les mêmes hypothèses de calcul. Le dimensionnement manuel a donné une épaisseur de $0,25\text{m}$,

des sections allant du HA8 au HA12 pour une longueur de 2476,1m comme quantités d'aciers et CYPE donne des sections allant du HA10 au HA12 pour une longueur de 2474,07m.

Pour la mise en place d'un tel ouvrage, il faut environ une enveloppe budgétaire de Cinq neuf millions quatre cents quatre-vingt-quatre mille deux cents cinq francs (59 484 205) FCFA TTC. De cette étude, on retient que le calcul manuel semble difficile à appliquer car nécessite beaucoup de recherche et de documentation ; demande de disposer du temps, d'être beaucoup très attentif. Alors que le logiciel CYPE donne tous les résultats en un clic, donc permet de gagner en temps et en capacité de production voir de rendement.

On ne peut conclure ce travail sans apporter quelques recommandations :

- S'il est vrai que le logiciel est rapide il n'en demeure pas moins qu'il présente des limites. Par conséquent, il est préférable de ne pas négliger le calcul manuel car il permet d'apprécier la véracité des résultats produits par le logiciel.
- Il faut élargir le domaine de dimensionnement du logiciel CYPE à tout type de dalot.

VI. BIBLIOGRAPHIE

❖ Ouvrages et articles

1. Nguyen VAN TUU, Bernard LEMOINE et Jacques POUPLARD, Hydraulique routière, édition 1981.
2. MESSAN Adamah (2012). Hydraulique routière partie 2: Ouvrage d'art-Conception et dimensionnement des petits ouvrages de franchissement routier, Master 2(2iE). 24 mai 2012.
3. Jean Perchat, Jean Roux EYROLLES, Pratique du BAEL 91 Cours avec corrigés Quatrième édition 2002.
4. Angelbert BIAOU, cours d'hydraulique routière 2iE, Licence D (2iE), édition 2010.
5. LEBELLE.S, cours de béton armé 2iE, Licence D (2iE), édition 2010.
6. Ibrahim KABORE. Cours d'hydraulique routière : PARTIE II : Conception des petits ouvrages hydrauliques, Licence D (2iE), édition 2011
7. Issoufou TAMBOURA, cours de Ponts et ouvrages d'arts, Master 2(2iE), édition 2013.

❖ Sites internet

www.cours.de.Génie.civil.com

❖ Logiciels

AUTOCAD

CYPE

VII. ANNEXES

ANNEXE 1 : Abaque de prédimensionnement de la semelle du mur en aile.....	a
ANNEXE 2 : Abaque de détermination des paramètres du dimensionnement hydraulique....	b
ANNEXE 3 : Calcul manuel détaillé du dalot.....	c
ANNEXE 4 : Calcul manuel du mur en aile.....	d
ANNEXE 5 : Devis quantitatif et estimatif.....	e
ANNEXE 6 : Plan d'exécution du dalot et du mur en aile.....	f

ANNEXE1 : Abaque de prédimensionnement de la semelle du Mur en aile

ANNEXE2 : Abaque de détermination des paramètres du dimensionnement hydraulique

ANNEXE 3 : Calcul manuel du Dalot

ANNEXE 4 : Calcul manuel du mur en aile

ANNEXE5 : Devis quantitatif et Estimatif

Annexe 6 : Plans d'exécution du Dalot et du mur en aile

