



**ANALYSE, CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT ET
CONSTRUCTION DES OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT DU
LOT 2 DE LA ROUTE PARAKOU – DJOUGOU EN VUE DE SA
RÉHABILITATION, DANS LA RÉGION NORD DU BÉNIN.**

**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGÉNIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GÉNIE CIVIL**

Présenté et soutenu publiquement le 26 Octobre 2015 par

Miguel DOSSOU GOUASSANGNI

Travaux dirigés par :

Dr. Ismaïla GUEYE

Enseignant – Chercheur au 2iE
Responsable Pédagogique du cycle Master génie civil
&

Mme Izibath JACQUET

Ingénieur génie civil
Conductrice des travaux – SOGEA SATOM BENIN

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Angelbert Chabi BIAOU

Membres et correcteurs : M. Célestin OVONO MEZUI

M. Décroly DJOUBISSIE DENOUWE

Promotion [2014/2015]

CITATIONS

Nulle pierre ne peut être polie sans friction, nul homme ne peut parfaire son expérience sans épreuve. Le travail est le pain nourricier des grandes nations...

Confucius / Mirabeau

DÉDICACES

Je dédie ce mémoire ...

A mes parents, Florent DOSSOU GOUASSANGNI et Christine HOUNDJE DAVIES pour m’avoir donné une éducation de qualité, aux valeurs combien précieuses qu’ils ont su m’inculquer, à toutes ces années de sacrifices et aux efforts incommensurables qu’ils ont consentis à mon égard. Veuillez accepter ce travail, comme ma reconnaissance ineffable pour avoir été le principal artisan de mon avenir. Que Dieu le Tout Puissant, l’Alpha et l’Oméga puisse vous combler de bonheur et vous bénisse abondamment.

REMERCIEMENTS

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude à tous les acteurs qui ont contribué à l'élaboration de ce travail que ce soit du 2iE qu'au niveau de l'entreprise SOGEA SATOM BENIN.

Tout particulièrement, je tiens à remercier :

- **M. Jean-Jacques DJIDJOHO**, Directeur d'agence de la SOGEA SATOM BENIN pour sa réponse favorable à ma demande de stage.
- **M. Zoltan JANOS**, Directeur des travaux du projet de m'avoir accueilli en leur sein pour faire mon mémoire de fin d'étude. Encore merci !
- **Mme Izibath JACQUET**, conductrice des travaux et responsable de la section génie civil pour avoir acceptée de m'encadrer pour ce travail et le conduire jusqu'au bout en m'intégrant dans sa section pour que je puisse toucher du doigt la réalisation des ouvrages. Ce document n'aurait pas pu être réalisé sans ses précieux conseils, son coaching, sa disponibilité et cette confiance placée en moi. Encore merci !
- Tout le personnel du chantier en général et en particulier **Mme Moussa Aoula**, les chefs chantiers et chefs d'équipe de la section Génie civil ; **M. Kayodé ALLE**, Ingénieur suivi et gestion du projet pour sa participation active à la réussite de ce travail. Encore merci !
- **M. Ismaïla GUEYE**, mon encadreur, responsable pédagogique, chef du département génie civil et enseignant au 2iE pour son soutien dans la réussite de ce travail.
- Ma gratitude à tout le corps professoral du 2iE, mes frères et sœurs, à tous mes promotionnels pour les moments agréables passés ensemble durant les années d'étude.

RÉSUMÉ

Le projet concerne les travaux de réhabilitation et de renforcement de la route Parakou – Djougou sur une longueur de 136, 600 km. Ces travaux se constituent en deux lots :

- ❖ LOT 1 : Section Parakou – Tourou – Wèwè : du PK 0+000 au PK 73+000 ;
- ❖ LOT 2 : Section Wèwè – Djougou : du PK 73+000 au PK 136+600

Après le DAO, l'entreprise SOGEA SATOM est déclaré attributaire du LOT 2 long de 63,6 km. Le coût de réalisation des travaux s'élève à 21 194 298 782 FCFA TTC. Le délai d'exécution est de 24 mois à compter du 28 décembre 2014.

Le présent document porte sur l'analyse, la conception, le dimensionnement et la construction des ouvrages de franchissement de ce tronçon qui ont pour but d'assurer la sécurité des usagers et le bon drainage des eaux pluviales. Les études hydrologique et hydraulique ont porté sur 34 bassins versants variant de 1,10 à 268,30 km² le long de la route Parakou – Djougou. Les débits de crues obtenus par rapport à la période de retour de 10 ans ont permis de vérifier la section des dalots et aussi de redimensionner les cas de section insuffisante. Les débits de crue par rapport à la période de retour de 50 ans ont été obtenus par la méthode EIÉR. Au total, 64 ouvrages hydrauliques composés essentiellement de dalots et de buses ont été répertoriés sur le tronçon dont 50 sont à remplacer et 14 à conserver. Les ouvrages d'art sont au nombre de 4, mais tous en bon état de fonctionnement. Les études béton armé ont porté sur le dimensionnement de quatre dalots de sections 120 x 120 ; 2 x 120 x 120 ; 300 x 200 ; 2 x 200 x 200. Suivant le planning d'exécution des ouvrages, il est procédé dans le cadre de ce travail à la construction de trois dalots doubles de section 2 x 120 x 120 dont leur prix de revient total s'élève à 31 182 671 FCFA.

Mots Clés :

-
- 1 – Capacité hydraulique**
 - 2 – Ouvrage hydraulique**
 - 3 – Crues décennales**
 - 4 – Crues de 50 ans**
 - 5 – Coût de revient**

ABSTRACT

The project relates to work of rehabilitation and reinforcement of the road Parakou - Djougou over a length of 136, 600 km. This work is constituted in two batches:

- ❖ BATCH 1: Section Parakou - Tourou – Wèwè: KP 0+000 to KP 73+000;
- ❖ BATCH 2: Section Wèwè – Djougou: KP 73+000 to KP 136+600.

After the CAD, company SOGEA SATOM is declared assignee of BATCH 2; 63.6 km length. The cost of realization of work rises to 21 194 298 782 FCFA including all taxes. The completion period is 24 months as from December 28, 2014.

This document relates to the analysis, the design, the dimensioning and the construction of the works of crossing of this section the purpose of which are to ensure the safety of the users and the good drainage of rain water. The studies hydrological and hydraulic related to 34 basins slopes varying from 1.10 to 268.30 km² along the road Parakou - Djougou. The flows of risings obtained compared to the period of 10 years return made it possible to check the section of the channels and also of the redimensionner in the event of insufficient section. The flows of believed compared to the period of 50 years return were obtained by method EIER. On the whole, 64 hydraulic works primarily made up of channels and tubes were indexed on the section of which 50 are to be replaced and 14 to preserve. The structures are 4, but all in good operating condition. The studies reinforced concrete related to the dimensioning of four channels of section 120 x 120; 2 x 120 x 120; 300 x 200; 2 x 200 x 200. According to a planning of execution of the works, is carried out within the framework of this work to the construction of three double channels of section 2 x 120 x 120 whose their total cost rises to FCFA 31 182 671.

Key words:

-
- 1 – Hydraulic capacity**
 - 2 – Hydraulic structures**
 - 3 – Decadal flow**
 - 4 – Flow 50 years**
 - 5 – Cost price**

LISTE DES ABRÉVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

A : Coefficient d'abattement de la pluie

BCEOM : Bureau Central d'Etudes pour les Equipements d'Outre – Mer

BOAD : Banque Ouest Africaine de Développement

CIEH : Comité Interafricain pour les Etudes Hydrauliques

C_{T,Q} : Coefficient de passage

DAO : Dossier d'Appel d'Offre

EIES : Etude d'Impact Environnemental et Social

EPI : Equipement de Protection Individuel

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

HA : Haute Adhérence

Ht. : Hauteur du caisson

I_g : Indice global de pente

I_{comp} : Indice de compacité

IDF : Courbe Intensité – Durée – Fréquence

IGN : Institut Géographique National

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

K : Coefficient régional estimé pour les grands bassins versants

K_p : Coefficient de pointe correspondant à la crue décennale

K_r : Coefficient de ruissellement

L : Longueur du cours d'eau en km

Long. : Longueur du caisson

Larg. : Largeur du caisson

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre – Mer

PGES : Plan de Gestion Environnemental et Social

PSI – BA : Passage Supérieur ou Inférieur à poutres de Béton Armé

PHE : Plus Hautes Eaux

P : Périmètre du bassin versant

P_{an} : Pluie annuelle moyenne en mm

P₁₀ : Pluie journalière décennale en mm

PK : Point Kilométrique

Q_{max(10)} = Q₁₀ : Débit maximal décennal en m³/s

S : Superficie du bassin versant

SCB : Société des Ciments du Bénin

T_b : Temps de base de la crue en heure (h)

VIPP : Viaduc à travées Indépendantes à Poutres Précontraintes

ΔH : Dénivelée en m séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la superficie du bassin versant au-dessus d'elles.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants	15
Tableau 2 : Classification des très petits bassins versants du projet.....	16
Tableau 3 : Classification des petits et grands bassins versants du projet.....	17
Tableau 4 : Coefficients d’ajustement de la méthode du CIEH	18
Tableau 5 : Choix des méthodes utilisées pour l’estimation des crues	19
Tableau 6 : Périodes de retour	19
Tableau 7 : Coefficients de pointe Kp	20
Tableau 8 : Extrapolation des débits selon différentes périodes de retour	24
Tableau 9 : Les débits de pointe du projet par la méthode ORSTOM	25
Tableau 10 : Débits de pointe du bassin n° 13 par la méthode du CIEH	27
Tableau 11 : Comparaison des méthodes CIEH et ORSTOM et choix de la méthode à conserver.....	27
Tableau 12 : Répartition par types et dimensions d’ouvrages hydrauliques	30
Tableau 13 : Inventaire des ponts	32
Tableau 14 : Récapitulatif des ouvrages d’art existants	33
Tableau 15 : Vérification des sections hydrauliques.....	37
Tableau 16 : Section des ouvrages hydrauliques projetés	38
Tableau 17 : Dalots proposés pour le remplacement des buses.....	40
Tableau 18 : Pré dimensionnement des dalots	42
Tableau 19 : Récapitulatif des armatures des parties d’ouvrage	43
Tableau 20 : Récapitulatif du choix des aciers.....	45
Tableau 21 : Récapitulatif du choix des aciers.....	47
Tableau 22 : Récapitulatif du choix des aciers.....	49
Tableau 23 : Prix de revient prévisionnel des trois dalots 2 X 120 X 120	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone de Djougou	8
Figure 2 : Carte de localisation de la zone d'étude	8
Figure 3 : Pluie journalière maximale de fréquence décennale en Afrique de l'ouest (CIEH 1985).....	21
Figure 4 : Pluie journalière maximale de fréquence décennale en Afrique de l'ouest précisant le Bénin (CIEH 1985).....	22
Figure 5 : Schéma de l'écoulement dans l'ouvrage.....	36

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : Répartition par types et dimensions d'ouvrages hydrauliques.....	30
---	-----------

SOMMAIRE

<i>CITATIONS</i>	<i>II</i>
<i>DÉDICACES</i>	<i>III</i>
<i>REMERCIEMENTS</i>	<i>IV</i>
<i>RÉSUMÉ</i>	<i>V</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>VI</i>
<i>LISTE DES ABRÉVIATIONS</i>	<i>VII</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>IX</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>X</i>
<i>LISTE DES GRAPHIQUES</i>	<i>X</i>
<i>SOMMAIRE</i>	<i>1</i>
<i>I. <u>Introduction générale</u></i>	<i>4</i>
<i>I.1 Contexte général</i>	<i>4</i>
<i>I.2. Problématique</i>	<i>5</i>
<i>I.3. L'objectif général du projet</i>	<i>5</i>
<i>I.4. Les objectifs spécifiques du projet</i>	<i>5</i>
<i>II. <u>Matériels et Méthodes</u></i>	<i>7</i>
<i>II.1. Présentation de la zone de projet et du cadre de travail</i>	<i>7</i>
<i>II.2. Matériels</i>	<i>9</i>
<i>II.3 Méthodes</i>	<i>10</i>
<i>Chapitre I : <u>Etude hydrologique</u></i>	<i>11</i>
<i>I.1 Données climatologiques</i>	<i>11</i>
<i>I.2. Données et calculs hydrologiques</i>	<i>12</i>
<i>I.2.1. Caractéristiques morphologique, physique et physiographique des bassins versants</i> <i>13</i>	
<i>I.2.2 Présentation des méthodes de calcul pour l'estimation des crues du projet</i>	<i>17</i>

<i>I.2.3. Analyse des bassins versants</i>	<i>19</i>
<i>I.2.4. Choix de la période de retour</i>	<i>19</i>
<i>I.2.5. Estimation des crues du projet</i>	<i>20</i>
<i>Chapitre II : <u>Étude hydraulique</u></i>	<i>29</i>
<i>II.1. Diagnostic et inventaire des buses et des dalots existants.....</i>	<i>29</i>
<i>II.2. Diagnostic et inventaire des ponts existants</i>	<i>31</i>
<i>II.3. Vérification des ouvrages hydrauliques existants</i>	<i>34</i>
<i>II.3.1. Régime fluvial</i>	<i>34</i>
<i>II.3.2 Régime torrentiel.....</i>	<i>34</i>
<i>II.4. Dimensionnement hydraulique des ouvrages projetés</i>	<i>38</i>
<i>II.4.1. Remplacement des buses par des dalots</i>	<i>38</i>
<i>II.5. Vérification des ponts existants.....</i>	<i>41</i>
<i>Chapitre III : <u>Dimensionnement structural des ouvrages hydrauliques</u>.....</i>	<i>42</i>
<i>III.1. Pré dimensionnement.....</i>	<i>42</i>
<i>III.2.1. Dalot 120 x 120</i>	<i>42</i>
<i>III.2.2. Dalot 2 x 120 x 120.....</i>	<i>45</i>
<i>III.2.3. Dalot 300 x 200</i>	<i>47</i>
<i>III.2.4. Dalot 2 x 200 x 200.....</i>	<i>49</i>
<i>Chapitre IV : <u>Quantitatif et estimatif des dalots</u></i>	<i>51</i>
<i>IV.1. Devis quantitatif et estimatif.....</i>	<i>51</i>
<i>IV.2 Coût de revient</i>	<i>51</i>
<i>Chapitre V : <u>Démolition et reconstruction des dalots</u></i>	<i>53</i>
<i>V.1. Méthodologie de construction</i>	<i>53</i>
<i>V.2. Les ressources</i>	<i>55</i>
<i>Chapitre VI : <u>Discussion, analyse et recommandations</u></i>	<i>57</i>
<i>VI.1. Discussion et Analyses</i>	<i>57</i>

<i>VI.2. Recommandations.....</i>	<i>59</i>
<i>Conclusions et Perspectives.....</i>	<i>60</i>
<i>Bibliographie.....</i>	<i>62</i>
<i>Annexes.....</i>	<i>64</i>

I. INTRODUCTION GENERALE

I.1 Contexte général

Construire a toujours été l'un des premiers soucis de l'homme et l'une de ses préoccupations privilégiées. L'histoire nous a enseigné l'exploit des Egyptiens, des Grecs, des Romains sur la construction des routes et des ouvrages d'art presque sans grande technologie et formation. Mais de nos jours, l'art de construire n'est plus perçu comme un simple souci de l'homme mais comme un facteur privilégié de développement.

C'est compte – tenu de cette importance que le Gouvernement de la République du Bénin dans le cadre de sa politique en matière de lutte contre la pauvreté ; du développement économique par l'amélioration des conditions de transport ; de la facilitation des déplacements des usagers par la mise en place d'infrastructures routières, que le projet de réhabilitation et de confortement de la route Parakou – Djougou d'une longueur de 136, 600 km a été étudié et se trouve à sa phase de réalisation.

La praticabilité d'une telle route doit être assurée en toutes saisons, notamment par la mise en place d'ouvrages adéquats de franchissement des cours d'eau et la réalisation d'un assainissement en vue de préserver le remblai mis en place car le tronçon Parakou – Djougou étant le principal axe routier qui relie la ville carrefour de Djougou à la ville de Parakou qui est la principale ville du nord – Bénin d'une part et d'autre part, un axe de passage pour la majeure partie du flux de trafic local et pour tous les usagers des pays de la sous – région tel que le Togo et le Nigéria mais également ceux des pays de l'hinterland comme le Niger, le Burkina Faso et le Mali.

Après les études économiques, techniques détaillées, d'impacts environnemental et social, et d'élaboration des DAO, les travaux du dit projet se résument en plusieurs points essentiels :

- 📖 Les installations de chantier ;
- 📖 Les travaux préparatoires ;
- 📖 Les terrassements généraux ;
- 📖 La chaussée ;
- 📖 Le revêtement ;
- 📖 Le drainage, l'assainissement et les protections ;
- 📖 Les ouvrages d'art ;

- 📖 La signalisation et la sécurité ;
- 📖 L'éclairage public ;
- 📖 Les travaux connexes.

I.2. Problématique

Au Bénin, comme dans tous les pays en voie de développement, la route constitue un maillon essentiel dans la vie économique. Dans la construction d'une route, les ouvrages d'art sont les éléments les plus délicats. Ils sont les points de passage des crues et le bon fonctionnement de la route est tributaire à leur bonne exécution mais aussi d'une bonne étude préalable. En effet, l'eau constitue une des conséquences 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 pluie. Pour y remédier, la solution la plus adaptée est la mise en place des ouvrages de franchissement comme les dalots. Comment faire alors pour mettre cette route hors d'eau ; assurer la libre circulation des personnes et des biens en toute saison et améliorer le réseau routier reliant les deux grandes villes du nord – Bénin ?

I.3. L'objectif général du projet

L'objectif général de ce projet est de contribuer au développement économique du Bénin par l'amélioration des conditions de transport.

I.4. Les objectifs spécifiques du projet

Le tronçon routier Parakou – Djougou fait partie de la route communautaire CU 20 suivant la décision N°07 / 2001 / CM / UEMOA du 20 septembre 2001 portant adoption de la stratégie communautaire et d'un réseau d'infrastructures routières au sein de l'UEMOA.

Le premier objectif spécifique est l'accélération au renforcement de la construction de l'espace communautaire et l'augmentation de l'efficacité du transport routier en vue de stimuler le développement économique et social mais aussi l'intégration régionale.

Le second objectif spécifique est d'améliorer la fluidité du trafic reliant Parakou à Djougou et de réduire les effets néfastes sur l'environnement et la surcharge des poids lourds.

I.5. Les objectifs de l'étude

Les travaux du présent document se situent dans une zone où la dégradation très avancée de la route due à une faible capacité hydraulique des ouvrages d'assainissement rend la route impraticable à certains points et un écoulement difficile des eaux de ruissellement. Ce qui conduit à des pertes de temps énormes pour les différents usagers.

Pour résoudre cet état de fait, les études hydrologiques, hydrauliques et structurales ont été reprises parallèlement au projet ; mais également l'exécution de trois dalots doubles de section 2 x 120 x 120 suivant un planning établi à cet effet et le calcul de leur coût de revient.

II. MATERIELS ET METHODES

II.1. Présentation de la zone de projet et du cadre de travail

D'une superficie de 114 763 km², le Bénin est situé en Afrique de l'Ouest en bordure du Golfe de Guinée face à l'Océan Atlantique. De forme allongée, il s'étend du sud au nord dans la zone intertropicale (entre l'équateur et le tropique du cancer) sur une longueur de 700 km et sa largeur varie entre 125 km (au sud) et 325 km (au nord). Il est limité au nord – ouest par le Burkina Faso, au nord – est par le Niger, à l'est par le Nigéria, à l'ouest par le Togo et au sud par l'océan atlantique.

La route existante est à un état de dégradation très avancé. Sa réhabilitation contribuera certainement à l'intégration régionale avec le Togo, le Niger, le Burkina Faso, le Mali. D'une longueur de 136, 600 km, les travaux sont répartis en deux lots où nos travaux portent sur le second lot dont l'origine se situe à Wèwè au PK 73+000 à la fin située au centre-ville de Djougou au PK 136+600 ; soit un linéaire de 63,600 km. Le Bénin est un pays qui administrativement est subdivisé en 12 départements.

La route qui fait l'objet de nos travaux est située au nord dans le département de la Donga plus précisément dans la ville de Djougou localisée suivant les coordonnées géographiques (WGS 84) 09°41'48'' nord et 01°39'23'' (cf. Figure 1, Page 8). Ce tronçon routier relie la ville de Parakou (ville phare du nord) à celle de Djougou (ville carrefour), (cf. Figure 2, Page 8).

Ci-dessous, une localisation de la zone d'étude est proposée.

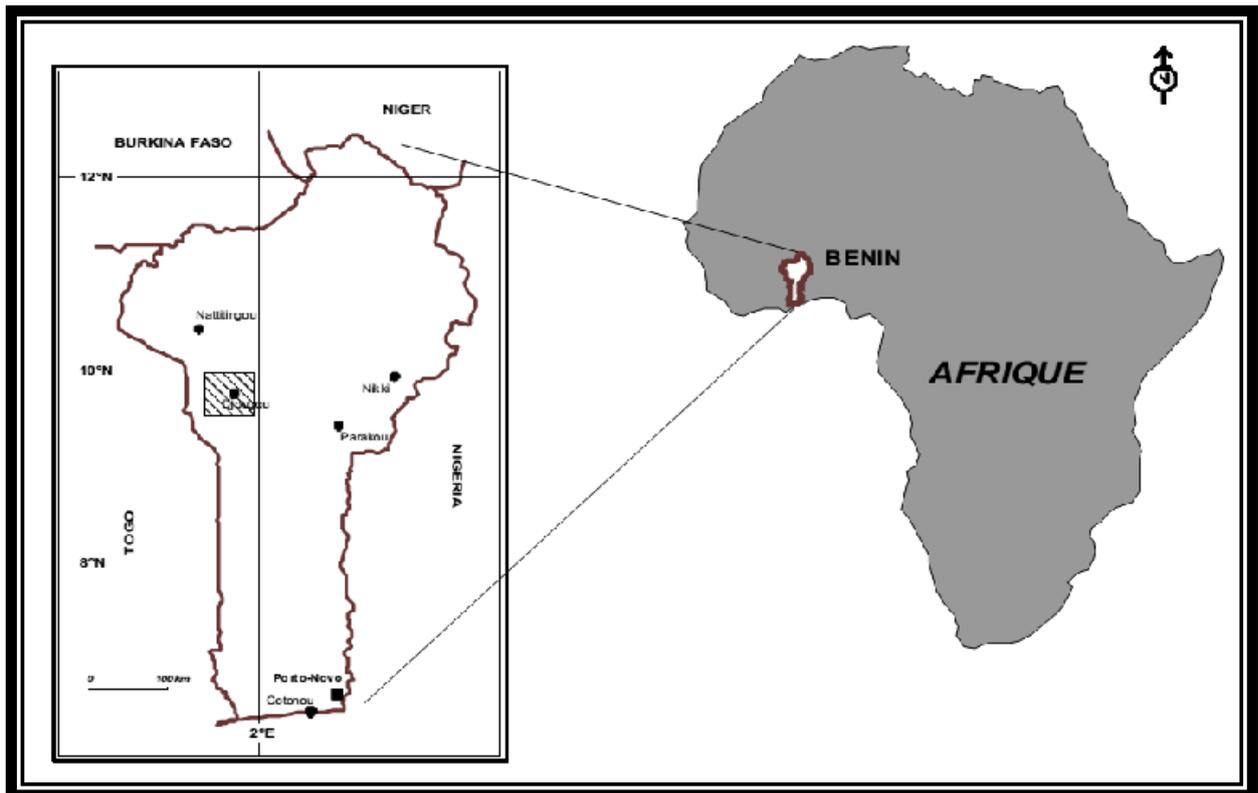


FIGURE 1 : LOCALISATION DE LA ZONE DE DJOUGOU

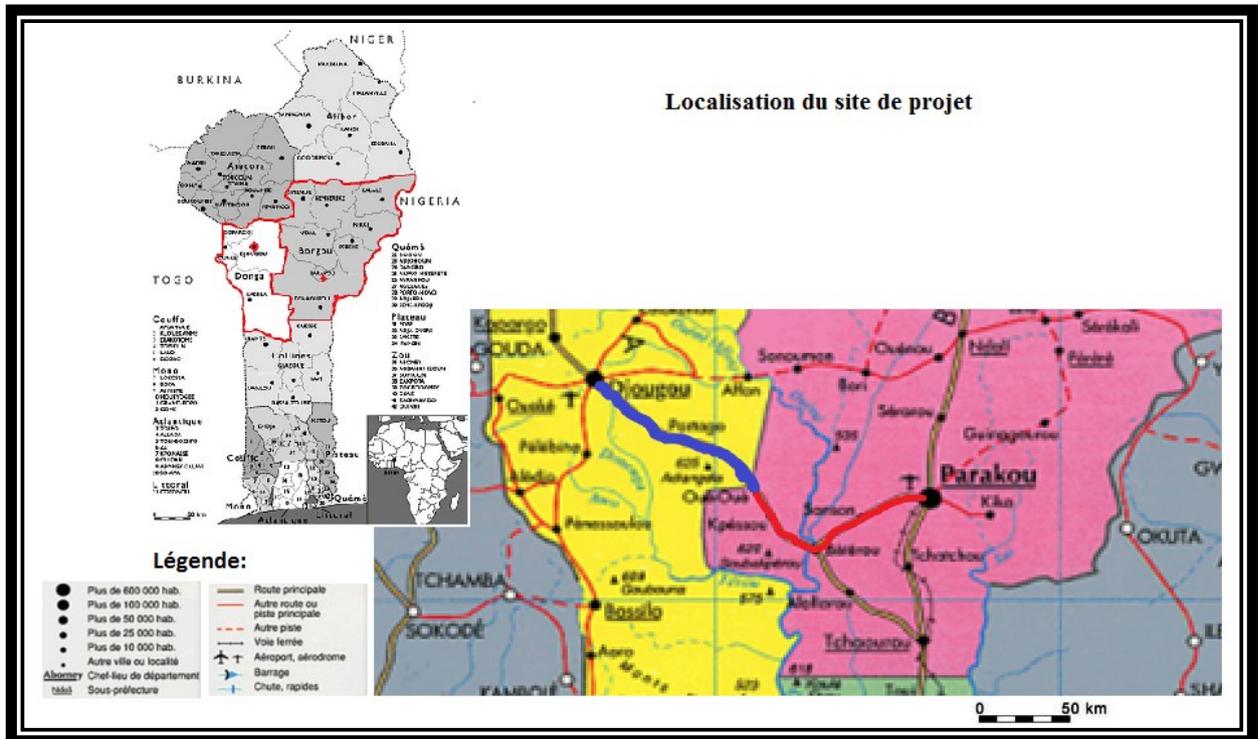


FIGURE 2 : CARTE DE LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.2. Matériels

Pour la réussite de nos travaux, il nous a été nécessaire d'utiliser l'ensemble des matériels suivants :

II.2.1. Outillage de levé d'état des lieux

- ❖ Appareil photo ;
- ❖ Instruments de mesurage ;
- ❖ Bloc – note et stylo.

II.2.2. Cartographie

- ❖ Carte de la zone de projet à l'échelle 1/200 000 pour la délimitation des bassins versants ;
- ❖ Papiers millimétrés ;
- ❖ Normales climatologiques de 1960 à 1990 de la station de Parakou.

II.2.3. Normes

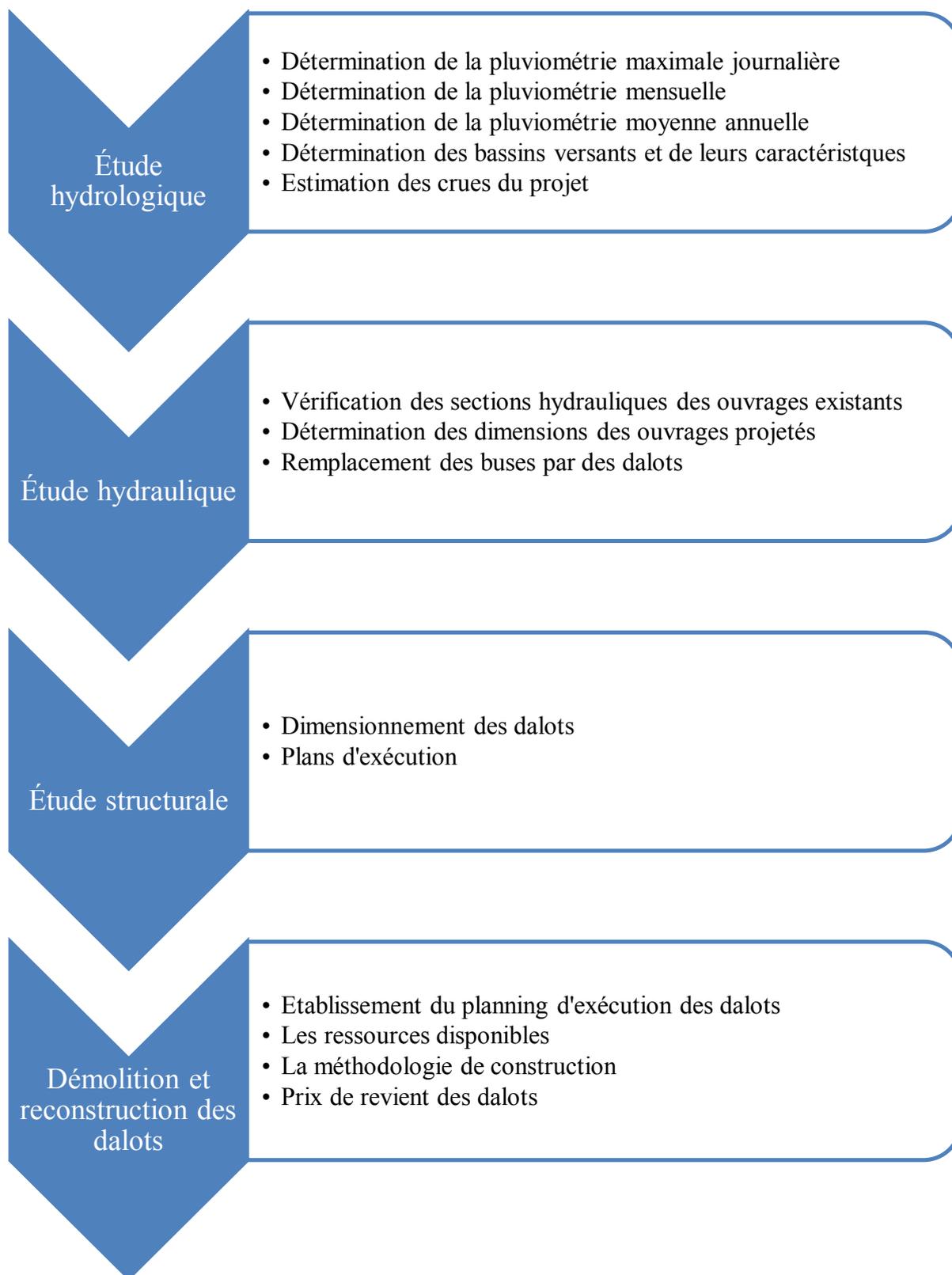
- ❖ Fascicule n° 61 : Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, Titre II – Programmes de charges et épreuves des ponts routes ;
- ❖ Fascicule n° 62 : Titre I – Section I – Règles techniques de calcul et de conception des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites – BAEL 91 révisé 99.

II.2.4. Logiciels

- ❖ AutoCAD 2012 ;
- ❖ Microsoft Office 2013 ;
- ❖ Pybar.

II.3 Méthodes

L'organigramme ci – dessous donne un aperçu de la démarche adoptée pour une bonne étude du projet.



CHAPITRE I : ETUDE HYDROLOGIQUE

I.1 Données climatologiques

Par sa situation en latitude (entre 6°30' et 12°30'), le Bénin appartient au domaine des climats chauds et humides de la zone intertropicale. Les températures sont constamment élevées avec une moyenne de 25°C pour l'ensemble du pays.

Compte tenu de l'allongement du Bénin en latitude, la saison pluvieuse s'établit progressivement du sud vers le nord. De même, la saison sèche débute plus tôt et dure plus longtemps au nord qu'au sud.

En avril, des précipitations courtes et drues (orages) se manifestent sur la côte. Ces précipitations orageuses progressent vers le nord tandis que les pluies deviennent continues dans le sud. En juillet, l'air maritime humide envahit tout le Bénin et est responsable des pluies continues. En août, la mousson qui se stabilise, provoque moins de pluies dans le sud, bien que le ciel reste toujours nuageux : c'est la petite saison sèche, relativement fraîche. Dans le nord au contraire, les précipitations atteignent leur maximum.

Au mois d'Octobre, les précipitations sont réduites à des orages dans le nord et le centre, tandis qu'au sud, elles redeviennent abondantes : c'est la petite saison humide, plus courte que la première. De novembre à mai dans le nord et de décembre à mars dans le sud s'installe la saison sèche. L'air maritime humide se retire et l'air continental sec envahit progressivement tout le pays. De décembre à février, cet air est particulièrement desséchant et peut se manifester quelques jours sur le littoral : c'est le harmattan.

Ainsi, l'étude des éléments du climat est faite à partir des données de la station de Parakou qui est la principale station météorologique de la région d'étude pour une période d'observation de 20 ans (de 1971 à 1990).

Dans le sens nord – sud, les températures sont assez variables et de l'ordre de 27° à 29°C. Le mois le plus chaud est le mois de mars avec des températures maximales supérieures à 35°C. Le mois le moins chaud est le mois d'août avec des températures minimales avoisinant 25°C.

L'humidité de l'air est en moyenne de l'ordre de 60 à 65%. Les mois les plus humides sont les mois d'août et de septembre avec une humidité maximale proche de la saturation à

plus de 95%. Les mois les plus secs sont les mois de janvier et février avec une humidité moyenne qui ne dépasse pas 20%.

D'une extrémité à l'autre de la route, la pluie moyenne annuelle est de 1148,9 mm à Parakou. Les pluies annuelles sont assez variables avec des années très pluvieuses par rapport à la moyenne. La saison des pluies se concentre entre le mois d'avril et le mois d'octobre (plus de 95% des pluies). Les mois les plus pluvieux sont juin, juillet, août et septembre (plus de 55% des pluies).

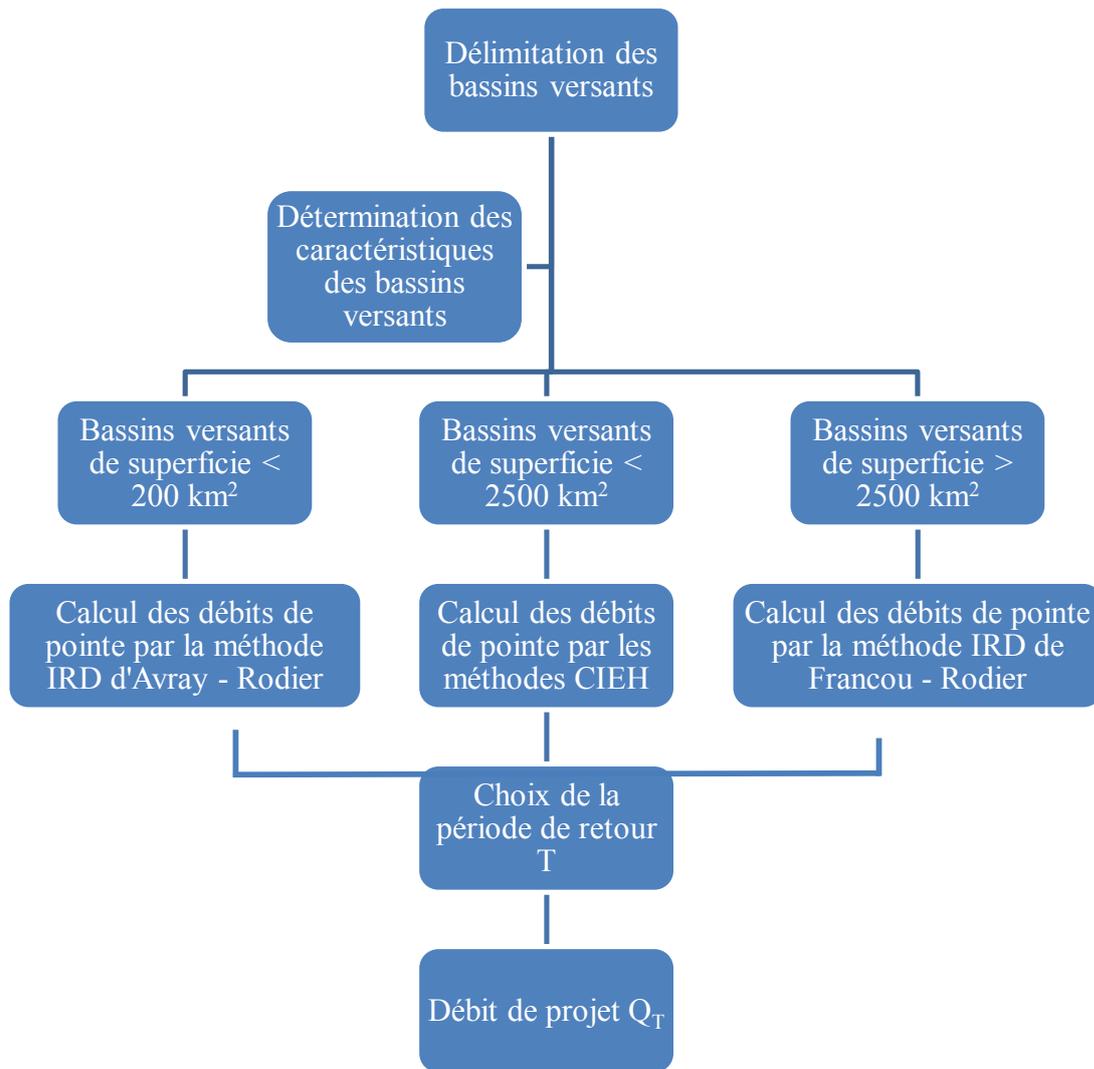
L'ensemble des données climatiques de Parakou se résumant en l'annexe 3 à la page 7 des annexes.

La pluie journalière décennale P_{10} est déterminée à partir de l'ajustement statistique de la loi de Gumbel réalisé sur les séries des pluies journalières maximales annuelles aux différentes stations à proximité du linéaire routier.

Mais d'une extrémité à l'autre de la route, la pluie journalière décennale P_{10} est peu variable malgré un léger gradient des pluies décennales. Cette valeur peut être aussi déterminée par la méthode du CIEH qui est la carte des pluies journalières décennales et par conséquent transposable au linéaire routier dans la zone de projet. (cf. figure 3 & 4, Pages 21-22)

I.2. Données et calculs hydrologiques

L'organigramme ci – dessous permet de mettre au point une méthode d'évaluation des débits de pointe des crues exceptionnelles sur les bassins versants qui débouchent sur la route et ceci afin de proposer des éléments de calcul rationnels pour la construction des ouvrages de franchissement. Une analyse régionale de ces méthodes hydrologiques a permis d'élaborer l'organigramme qui suit :



I.2.1. Caractéristiques morphologique, physique et physiographique des bassins versants

La détermination des caractéristiques morphologiques des bassins versants et des conditions d'écoulement est réalisée à partir des documents cartographiques, des informations bibliographiques et des données pluviométriques disponibles sur la région.

Pour une bonne appréciation des bassins versants, des cartes à l'échelle 1/50 000 seraient beaucoup plus précises. Cependant, la partie nord du Bénin n'est pas dotée de ce genre de carte. A défaut donc de carte à échelles plus grandes, ce sont les cartes à l'échelle 1/200 000 disponibles à l'IGN qui sont utilisées pour délimiter les bassins versants, analyser le relief et estimer les paramètres morphologiques des bassins : Superficie, indice de compacité, indice global de pente, infiltrabilité du sol, forme des bassins, végétation.

A. Superficie et périmètre

Les superficies et les périmètres de tous les bassins versants sont déterminés à partir de l'extrait de la carte transposé sur du papier millimétré et vérifié par le logiciel AUTOCAD.

B. Indice de compacité

Encore appelé indice de forme ou coefficient de GRAVELIUS, il intervient dans le calcul de l'indice de pente et s'obtient par la formule :

$$I_{\text{comp}} = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{S}}$$

C. Indice global de pente

Il caractérise le relief du bassin versant et s'obtient par la formule :

$$I_g = \frac{\Delta H}{L}$$

D. Infiltrabilité du sol

La zone de projet est essentiellement recouverte de sol latéritique qui appartient à la classe d'infiltrabilité (I) des bassins imperméables selon les classifications de RODIER. Mais compte tenu des activités de la zone de projet (zone maraîchère) où les sols sont constamment remués, nous convenons d'adopter la classe (RI) des bassins relativement imperméables qui se trouvent entre les bassins imperméables (I) et perméable (P).

E. Forme

La plupart de nos bassins versants ont une forme arrondie.

F. Végétation

La végétation est essentiellement caractérisée par des savanes arborées et arbustes dont 37 182 ha de forêt classée sous aménagement, des poches non – négligeables de forêts claires et denses par endroit. A certains endroits, les savanes sont dégradées par les pratiques culturales.

Au total, 34 bassins versants sont délimités sur les cartes. Ces cartes de délimitations jointes en annexe 1 à la page 2 des annexes donnent une idée du tracé des bassins versants.

Après le calcul des différentes caractéristiques des trente – quatre (34) bassins versants du projet, les résultats suivants sont obtenus et présentés dans le tableau ci – après :

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS

N° Bassin Versant	Localisation PK	Superficies (Km ²)	Périmètres (Km)	Indice de compacité	Longueur thalweg (Km)	Dénivelée (m)	Indice global de pente (m/Km)
1	3+183	2,38	6,49	1,19	1,74	25,00	14,37
2	5+334	1,77	5,65	1,20	2,04	13,00	6,37
3	8+624	3,69	7,80	1,15	2,18	10,00	4,59
4	9+537	1,24	4,61	1,17	1,10	17,00	15,45
5	15+590	55,70	32,20	1,22	11,04	92,00	8,33
6	16+600	6,44	13,02	1,45	2,75	22,00	8,00
7	26+670	109,40	50,60	1,36	19,40	58,00	2,99
8	30+125	5,53	9,72	1,17	2,08	18,00	8,65
9	36+614	14,40	15,90	1,18	4,96	25,00	5,04
10	53+800	7,90	11,90	1,19	3,63	35,00	9,64
11	58+700	1,70	5,49	1,19	0,95	10,00	10,53
12	68+025	4,60	9,37	1,23	1,09	9,00	8,26
13	73+379	268,30	66,60	1,15	28,50	190,00	6,67
14	78+462	1,40	4,83	1,15	0,87	5,00	5,75
15	85+233	2,90	6,90	1,14	1,18	15,00	12,71
16	86+855	2,74	6,62	1,13	1,05	12,00	11,43
17	90+820	1,40	4,75	1,13	0,73	6,00	8,22
18	98+670	47,20	30,80	1,26	12,20	80,00	6,56
19	106+650	48,20	27,60	1,12	8,48	70,00	8,25
20	100+372	1,60	5,88	1,31	0,57	3,00	5,26
21	108+975	61,50	32,30	1,16	12,20	85,00	6,97
22	114+682	2,29	7,00	1,30	1,03	14,00	13,59
23	115+620	15,30	16,80	1,21	6,66	45,00	6,76
24	117+685	3,15	9,15	1,45	1,98	16,00	8,08
25	118+462	5,33	10,66	1,30	2,55	36,00	14,12
26	120+061	5,95	10,62	1,23	2,46	45,00	18,29
27	122+609	2,84	6,49	1,09	1,70	20,00	11,76
28	123+243	1,10	3,85	1,04	0,54	10,00	18,52

29	130+255	1,90	6,02	1,23	0,85	15,00	17,65
30	131+015	1,80	5,87	1,23	1,64	20,00	12,20
31	131+728	1,50	5,06	1,17	1,04	15,00	14,42
32	132+535	1,41	4,79	1,14	0,92	7,00	7,61
33	133+196	1,38	4,87	1,17	0,85	9,00	10,59
34	134+789	1,54	0,49	0,11	1,13	10,00	8,85

On classe les bassins versants relativement à leur superficie. En effet, on peut compter vingt – six (26) très petits bassins, sept (07) petits bassins et un (01) grand bassin. Les tableaux 2 et 3 ci – dessous présentent la classification de ces bassins versants.

TABLEAU 2 : CLASSIFICATION DES TRES PETITS BASSINS VERSANTS DU PROJET

Très petits bassins versants					
N° Bassins Versants	Localisation PK	Superficies Km²	N° Bassins Versants	Localisation PK	Superficies Km²
1	3+183	2,38	20	100+372	1,60
2	5+334	1,77	22	114+682	2,29
3	8+624	3,69	24	117+685	3,15
4	9+537	1,24	25	118+462	5,33
6	16+600	6,44	26	120+061	5,95
8	30+125	5,53	27	122+609	2,84
10	53+800	7,90	28	123+243	1,10
11	58+700	1,70	29	130+255	1,90
12	68+025	4,60	30	131+015	1,80
14	78+462	1,40	31	131+728	1,50
15	85+233	2,90	32	132+535	1,41
16	86+855	2,74	33	133+196	1,38
17	90+820	1,40	34	134+789	1,54

TABEAU 3 : CLASSIFICATION DES PETITS ET GRANDS BASSINS VERSANTS DU PROJET

Petits bassins versants			Grands bassins versants		
N° Bassins Versants	Localisation PK	Superficies Km ²	N° Bassins Versants	Localisation PK	Superficies Km ²
5	15+590	55,70	13	73+379	268,30
7	26+670	109,40			
9	36+614	14,40			
18	98+670	47,20			
19	106+650	48,20			
21	108+975	61,50			
23	115+620	15,30			

I.2.2 Présentation des méthodes de calcul pour l'estimation des crues du projet

A. Méthode IRD d'AUVRAY – RODIER pour les petits bassins versants

La méthode de l'IRD (ex ORSTOM) dite aussi d'AUVRAY et RODIER (1976) est utilisée pour les bassins forestiers en Afrique tropicale dont la surface est généralement inférieure à 200 km². A l'origine, elle a été mise en place à partir de 65 bassins de superficie inférieure à 120 km² et s'applique en théorie à l'Afrique occidentale. Depuis 1965, le volume des données et des observations s'est notablement accru et compte – tenu de ces nouveaux acquis, l'IRD a révisé et actualisé la méthode notamment grâce aux travaux de RODIER et RISBEIN (IRD 1988). La méthode s'applique désormais à des bassins versants couvrant des superficies de plus de 10 km² jusqu'à 2500 km² en théorie pour la zone sahélienne et la totalité des bassins versants d'une superficie inférieure à 1500 km² pour la zone tropicale sèche. L'actualisation et la validation ont regroupé 250 bassins représentatifs et stations hydrométriques sur les deux zones climatiques. L'expression de la formule de cette méthode est la suivante :

$$Q_{\max(10)} = K_p \times K_r \times \left[\frac{A \times P_{10} \times S}{3,6T_b} \right]$$

B. Méthode CIEH de PUECH et CHABI GONNI pour les bassins versants de taille moyenne

Cette méthode développée par le CIEH reprend les principes fondamentaux d'études statistiques mais en se servant de données enrichies des mesures effectuées ces dernières années. Elle est due à PUECH et CHABI GONNI (1983, révisé en 1994) et repose sur l'étude statistique initiale de 162 bassins dont la superficie varie entre 0,07 et 2500 km² (414 bassins versants lors de la révision en 1994) pour des pluies annuelles comprises entre 100 et 2500 mm. Sur l'échantillon de bassins versants utilisés, les auteurs montrent que cette méthode est satisfaisante pour des conditions de perméabilité et de reliefs moyennes. Des conditions extrêmes peuvent entraîner de fortes erreurs. L'expression de cette méthode se traduit par la formule suivante :

$$Q_{10} = a \times S^b \times I_g^c \times K_r^d \times P^e \times P_{10}^f$$

Les coefficients a, b, c, d, e, f sont des coefficients d'ajustement déterminés par régressions multiples. Pour le Bénin, le Togo et le Burkina Faso, les valeurs suivantes sont considérées :

TABLEAU 4 : COEFFICIENTS D'AJUSTEMENT DE LA METHODE DU CIEH

Version	a	b	c	d	e	f
CIEH 1 (1994)	0,41	0,425	-	0,923	-	-
CIEH 2 (1994)	0,254	0,462	0,101	0,976	-	-
CIEH 3 (1983)	0,167	0,435	-	1,262	-	-

C. Méthode IRD de FRANCOU et RODIER pour les grands bassins versants

Pour les grands bassins versants de superficie supérieure à 2500 km², l'hétérogénéité des pluies fait que les méthodes précédentes ne sont plus valables. FRANCOU et RODIER en 1967 proposent une estimation de débit de pointe de la crue décennale des grands bassins versants par une démarche résumée à travers la relation suivante :

$$Q_{10} = 10^6 \times \left(\frac{S}{10^8} \right)^{1-\frac{K}{10}}$$

I.2.3. Analyse des bassins versants

La délimitation des bassins effectuée sur la carte de l'IGN a permis de distinguer 34 bassins versants élémentaires de superficies variables classés selon leur superficie :

- A. Très petits bassins versants : $0 \leq S \leq 10 \text{ km}^2$;
- B. Petits bassins versants : $10 \leq S \leq 200 \text{ km}^2$;
- C. Grands bassins versants : $200 \leq S \leq 2000 \text{ km}^2$;
- D. Très grands bassins versants : $S > 2000 \text{ km}^2$.

Le choix de la méthode de calcul des crues est déterminé par la superficie des bassins versants. Ainsi pour chaque bassin versant, la méthode utilisée est la suivante :

TABLEAU 5 : CHOIX DES METHODES UTILISEES POUR L'ESTIMATION DES CRUES

Superficie en km^2	Nombre de bassins versants	Méthodes utilisées
$S < 200$	33	IRD d'AUVRAY-RODIER (ORSTOM) ou CIEH
$200 \leq S \leq 2500$	1	CIEH
$S > 2500$	0	IRD de FRANCOU et RODIER

I.2.4. Choix de la période de retour

Le choix de la période de retour prend en considération d'une part le coût d'investissement du réseau ou de l'ouvrage et d'autre part les conséquences d'un débordement pour une fréquence plus importante. Mais vue l'importance de la route en question qui est une route d'interconnexion au réseau communautaire, il nous est recommandé d'adopter les fréquences suivantes :

TABLEAU 6 : PERIODES DE RETOUR

Désignations	Périodes de retour (ans)
Drainage longitudinal	5 à 10
Petits et moyens cours d'eau	10 à 20
Écoulements naturels importants	20 à 100
Grands bassins versants	100

Ainsi pour cette étude, il est retenu :

- ❖ Pour les dalots et les buses : 10 ans ;
- ❖ Pour les ponts : 50 ans.

I.2.5. Estimation des crues du projet

Dans cette section, la première étape consiste à effectuer d’abord le calcul des débits de pointe de tous les bassins versants pour une fréquence décennale puis ensuite estimer les débits de crue pour une fréquence de 50 ans.

A. Méthode IRD d’AUVREY – RODIER (ex ORSTOM)

$$Q_{\max(10)} = K_p \times K_r \times \left[\frac{A \times P_{10} \times S}{3,6T_b} \right]$$

1. Le coefficient K_p est fonction du relief et de la superficie du bassin versant. Il est déterminé à partir du tableau 7 ci – après :

TABLEAU 7 : COEFFICIENTS DE POINTE K_p

Source : Hydraulique routière_BCEOM_

Relief du bassin versant	Superficie en Km ²		
	S < 5	5 < S < 10	S > 10
Plaine	1,9	2,2	2,3
Montagne	2	2,3	2,5

2. En fonction de l’indice global de pente et de la superficie du bassin versant, le coefficient de ruissellement K_{r10} correspondant à la crue décennale peut être déterminé à base de l’abaque du K_{r10} tirée du manuel pour l’estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non – jaugés de l’Afrique sahélienne tropicale sèche mise en annexe 2 à la page 5 des annexes.

3. Le coefficient d’abattement de la pluie est fonction de la pluviométrie annuelle et de la superficie du bassin versant. Il s’exprime par la formule suivante :

$$A = 1 - \left[\frac{(161 - 0,042 \times P_{an})}{1000} \times \log S \right]$$

La précipitation moyenne sur le bassin P_{m10} est obtenue en multipliant la hauteur de précipitation ponctuelle P_{10} par le coefficient d’abattement A déterminé par l’équation

simplifiée de Vuillaume (1974) :

$$P_{m10} = A \times P_{10}$$

D'après les données des normales climatologiques de 1960 à 1990 de la station de Parakou mises en annexe 3 des annexes, la pluviométrie annuelle P_{an} est de 1148,90 mm.

4. La pluie journalière décennale P_{10} est déterminée à partir de l'ajustement statistique de la loi de GUMBEL réalisé sur les séries des pluies journalières maximales annuelles aux différentes stations à proximité du linéaire routier. Mais d'une extrémité à l'autre de la route, la pluie journalière décennale est peu variable malgré un léger gradient des pluies décennales. Cette valeur peut être déterminée par la carte du CIEH suivante qui est la carte des pluies journalières décennales et par conséquent transposable au linéaire routier de la zone du projet (cf. Figures 3 & 4, Pages 21-22).

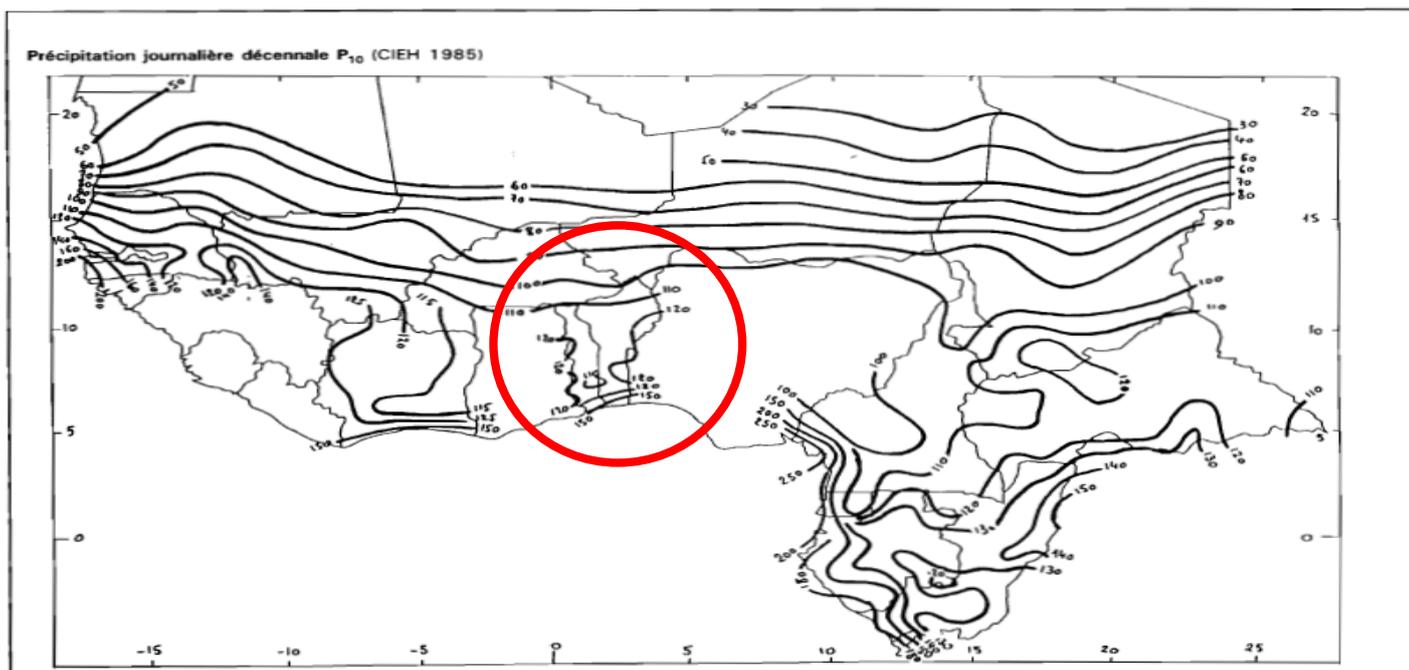


FIGURE 3 : PLUIE JOURNALIERE MAXIMALE DE FREQUENCE DECENNALE EN AFRIQUE DE L'OUEST (CIEH 1985)

Source : Crues et apports ; manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne tropicale sèche

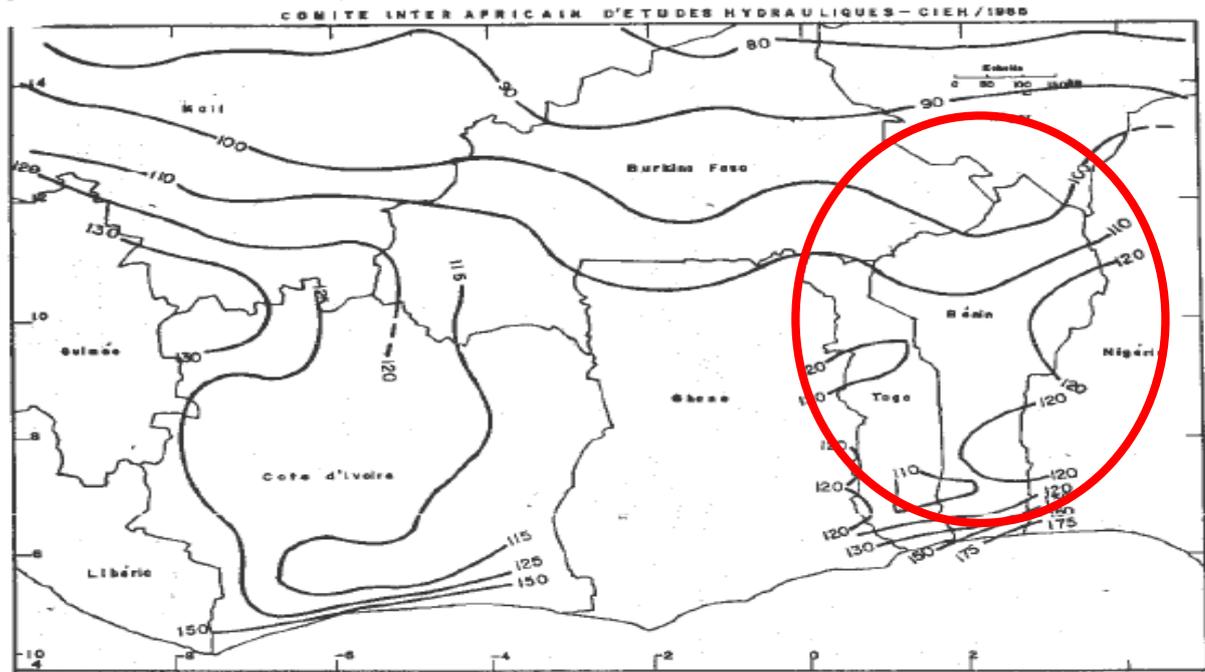


FIGURE 4 : PLUIE JOURNALIERE MAXIMALE DE FREQUENCE DECENNALE EN AFRIQUE DE L'OUEST PRECISANT LE BENIN (CIEH 1985)

Source : Crues et apports ; manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugeés de l'Afrique sahélienne tropicale sèche

La plupart des ouvrages se trouvent dans le département de la Donga où se situe Djougou. Selon la carte CIEH ci – dessus, la hauteur des pluies journalières décennales est de 110 mm dans la région de Djougou alors qu'elle est de 120 mm dans la région de Parakou.

Pour cette étude, la pluie de projet de période de retour décennale retenue est égale à $P_{10} = 110$ mm.

5. Le temps de base de la crue décennale est le temps compris entre le début et la fin du ruissellement. Il est déduit en fonction de la superficie du bassin, de l'abaque du temps de base tirée du manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non – jaugeés de l'Afrique sahélienne tropicale sèche mise en annexe 4 à la page 9 des annexes.

B. Méthode CIEH de PUECH et CHABI GONNI

En se basant sur les études récentes du CIEH et en tenant compte des caractéristiques des bassins et de leur emplacement, les équations de débit décennal envisageables sont celles calées pour la région géographique applicable au Bénin ; soient les équations suivantes :

$$\text{CIEH(1): } Q_{10} = 0,410 \times S^{0,425} \times K_r^{0,923}$$

$$\text{CIEH(2): } Q_{10} = 0,254 \times S^{0,462} \times I_g^{0,101} \times K_r^{0,976}$$

$$\text{CIEH(3): } Q_{10} = 0,167 \times S^{0,435} \times K_r^{1,262}$$

Cette méthode ne prend en compte qu'un seul bassin versant qu'est le bassin n° 13 situé au PK 73+319.

L'estimation des crues de 50 ans se fait suivant la méthode de GRADEX ou d'EIER :

C. Méthode de GRADEX

L'estimation des débits de pointe de crue de fréquence supérieure à 10 ans se fait selon la théorie de GRADEX (distributions statistiques des pluies et des débits Gumbéliennes) en admettant que toute précipitation extrême au – delà de la décennale engendre un supplément de débit égal au supplément de pluie par rapport à la pluie décennale. L'expression de cette théorie s'écrit :

$$Q_T = C_{T,Q} \times Q_{10} \quad \text{Où } C_{T,Q} = 1 + \frac{P_T - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{(T_b/24)^{0,12}}{K_{r10}}$$

D. Méthode EIER

Les précipitations instantanées varient à la fois avec le temps de la précipitation et la période de référence. La méthode EIER admet que la précipitation instantanée d'une période de référence de 10 ans doit être multipliée par un coefficient donné pour obtenir celle d'une autre période de retour.

Les ajustements statistiques des courbes IDF sont souvent définis pour des périodes de 10 ans et on ne dispose pas toujours d'ajustement pour une période différente de 10 ans. Par conséquent, le tableau 8 suivant tiré du cours d'hydrologie urbaine et quantitative – Assainissement Eaux Pluviales de l'EIER permet d'extrapoler le débit à d'autres périodes de retour à partir du calcul de $Q(T = 10 \text{ ans})$.

TABLEAU 8 : EXTRAPOLATION DES DEBITS SELON DIFFERENTES PERIODES DE RETOUR

Source : Ecole Inter-Etats d'Ingénieur de l'Équipement Rural (EIER) – Hydrologie Urbaine Quantitative – Assainissement Eaux Pluviales – Septembre 2001

Période de retour T	Valeur du rapport $Q(T)/Q(T = 10 \text{ ans})$
3 mois	0,24
6 mois	0,34
1 an	0,45
2 ans	0,57
5 ans	0,8
10 ans	1
20 ans	1,25
50 ans	1,6
100 ans	2

Des deux méthodes, la théorie de GRADEX nécessite énormément de données que nous ne possédons pas et qui ne sont pas toujours disponibles. Par conséquent, pour cette étude, la méthode EIER est retenue pour estimer les débits de fréquence de 50 ans.

En tout, les débits de crue de tous les bassins versants sont déterminés par la méthode ORSTOM. Ensuite, le calcul du débit de crue du bassin n° 13 qui est le seul grand bassin versant est effectué avec la méthode du CIEH et la comparaison des deux méthodes a permis de choisir le résultat le plus optimum. Les crues décennales sont utilisées pour le calcul des dalots et celles de cinquante ans pour les ponts. Les résultats des débits obtenus sont présentés dans les tableaux 9 et 10 ci – après :

TABLEAU 9 : LES DEBITS DE POINTE DU PROJET PAR LA METHODE ORSTOM

Méthode ORSTOM											
N° Bassins Versants	Localisation PK	Superficies (Km ²)	Périmètre (Km)	Indice global de pente I _g	K _p	K _{r10}	A	P ₁₀	T _b (heure)	Q ₁₀	Q ₅₀
1	3+183	2,38	6,49	14,00	1,9	35,00	0,96	110	3,30	14,03	22,45
2	5+334	1,77	5,65	6,00	1,9	29,00	0,97	110	5,37	5,40	8,64
3	8+624	3,69	7,80	5,00	1,9	28,00	0,94	110	8,37	6,71	10,74
4	9+537	1,24	4,61	15,00	1,9	36,00	0,99	110	2,50	10,26	16,41
5	15+590	55,70	32,20	8,00	2,3	25,00	0,80	110	13,37	58,80	94,08
6	16+600	6,44	13,02	8,00	2,2	28,00	0,91	110	2,83	38,88	62,21
7	26+670	109,40	50,60	3,00	2,3	20,00	0,77	110	36,67	32,30	51,67
8	30+125	5,53	9,72	9,00	2,2	29,00	0,92	110	4,17	23,71	37,93
9	36+614	14,40	15,90	5,00	2,3	28,00	0,87	110	9,17	26,87	43,00
10	53+800	7,90	11,90	10,00	2,2	31,00	0,90	110	4,97	29,79	47,67
11	58+700	1,70	5,49	11,00	1,9	33,00	0,97	110	3,32	9,56	15,30
12	68+025	4,60	9,37	8,00	1,9	29,00	0,93	110	6,67	10,75	17,20
14	78+462	1,40	4,83	6,00	1,9	29,00	0,98	110	4,70	4,93	7,89
15	85+233	2,90	6,90	13,00	1,9	36,00	0,95	110	3,00	19,15	30,64
16	86+855	2,74	6,62	11,00	1,9	32,00	0,95	110	3,42	14,16	22,66
17	90+820	1,40	4,75	8,00	1,9	30,00	0,98	110	4,72	5,08	8,14

18	98+670	47,20	30,80	7,00	2,3	26,00	0,81	110	12,50	55,97	89,56
19	106+650	48,20	27,60	8,00	2,3	26,00	0,81	110	12,38	57,63	92,20
20	100+372	1,60	5,88	5,00	1,9	29,00	0,98	110	5,00	5,26	8,42
21	108+975	61,50	32,30	7,00	2,3	27,00	0,80	110	13,33	69,87	111,79
22	114+682	2,29	7,00	14,00	1,9	28,00	0,96	110	2,83	12,61	20,17
23	115+620	15,30	16,80	7,00	2,3	27,00	0,87	110	9,17	27,44	43,91
24	117+685	3,15	9,15	8,00	1,9	29,00	0,94	110	3,42	14,65	23,44
25	118+462	5,33	10,66	14,00	2,2	34,00	0,92	110	3,17	35,32	56,51
26	120+061	5,95	10,62	18,00	2,2	35,00	0,91	110	2,55	50,10	80,17
27	122+609	2,84	6,49	12,00	1,9	36,00	0,95	110	3,30	17,07	27,31
28	123+243	1,10	3,85	19,00	1,9	36,00	1,00	110	1,70	13,46	21,54
29	130+255	1,90	6,02	18,00	1,9	36,00	0,97	110	2,50	15,38	24,62
30	131+015	1,80	5,87	12,00	1,9	33,00	0,97	110	3,17	10,58	16,92
31	131+728	1,50	5,06	14,00	1,9	36,00	0,98	110	2,47	12,46	19,93
32	132+535	1,41	4,79	8,00	1,9	36,00	0,98	110	2,83	10,23	16,36
33	133+196	1,38	4,87	11,00	1,9	37,00	0,98	110	3,17	9,21	14,74
34	134+789	1,54	0,49	9,00	1,9	36,00	0,98	110	2,50	12,60	20,16

TABLEAU 10 : DEBITS DE POINTE DU BASSIN N° 13 PAR LA METHODE DU CIEH

Méthode CIEH	Localisation	Superficies	P _{an} (mm)	Indice global de pente I _g	K _{r10}	P ₁₀	S ^b	I _g ^c	K _{r10} ^d	P ^e	P ₁₀ ^f	Q ₁₀	Q ₅₀
CIEH 1 (1994)	PK73+379	268,3	1148,9	7	23	110	10,77	1,00	18,07	1	1	79,77	127,63
CIEH 2 (1994)							13,24	1,22	21,33	1	1	87,35	139,76
CIEH 3 (1983)							11,39	1,00	52,30	1	1	99,46	159,14

Les résultats des crues trouvés par la méthode du CIEH comparés à ceux de la méthode ORSTOM donne :

TABLEAU 11 : COMPARAISON DES METHODES CIEH ET ORSTOM ET CHOIX DE LA METHODE A CONSERVER

Méthode ORSTOM						Méthode CIEH					
						CIEH 1 (1994)		CIEH 2 (1994)		CIEH 3 (1983)	
N° Bassins Versants	Localisation	Superficies	Périmètre	Q ₁₀	Q ₅₀						
13	PK73+379	268,3	66,6	125,97	201,55	79,77	127,63	87,35	139,76	99,46	159,14

De ces deux méthodes, il est retenu que les crues obtenues par la méthode ORSTOM sont supérieures à celles de la méthode du CIEH. Par conséquent, il convient de choisir les résultats de la méthode d'ORSTOM.

CHAPITRE II : ÉTUDE HYDRAULIQUE

II.1. Diagnostic et inventaire des buses et des dalots existants

Le diagnostic des dalots et des buses est réalisé sur tout l'itinéraire du tronçon (du PK 73+000 au PK 136+600) et s'est porté essentiellement sur :

- ❖ L'état des ouvrages existants (bassins versants, dimensions, état, emplacement, protection, etc.) ;
- ❖ L'inventaire des points bas et des écoulements dépourvus d'ouvrage ;
- ❖ L'inventaire des sources naturelles d'eau ;
- ❖ L'état du drainage latéral de la route (fossés latéraux de collecte des eaux superficielles et ouvrages de décharge, etc.).

L'ensemble du diagnostic de ces ouvrages effectué est présenté en annexe 6 à la page 16 des annexes avec des photographies à l'appui.

Depuis l'origine du projet (du PK 0+000), 124 ouvrages hydrauliques constitués essentiellement de buses en béton armé et de dalots simples et multiples généralement en bon état de fonctionnement sont recensés dont 64 répertoriés sur notre tronçon, soit en moyenne un ouvrage à chaque kilomètre. L'inventaire des ouvrages hydrauliques existants est présenté en annexe 5 à la page 11 des annexes. Ces ouvrages seront donc analysés et étudiés où les uns seront conservés après la vérification de leur capacité hydraulique et les autres remplacés ou réhabilités.

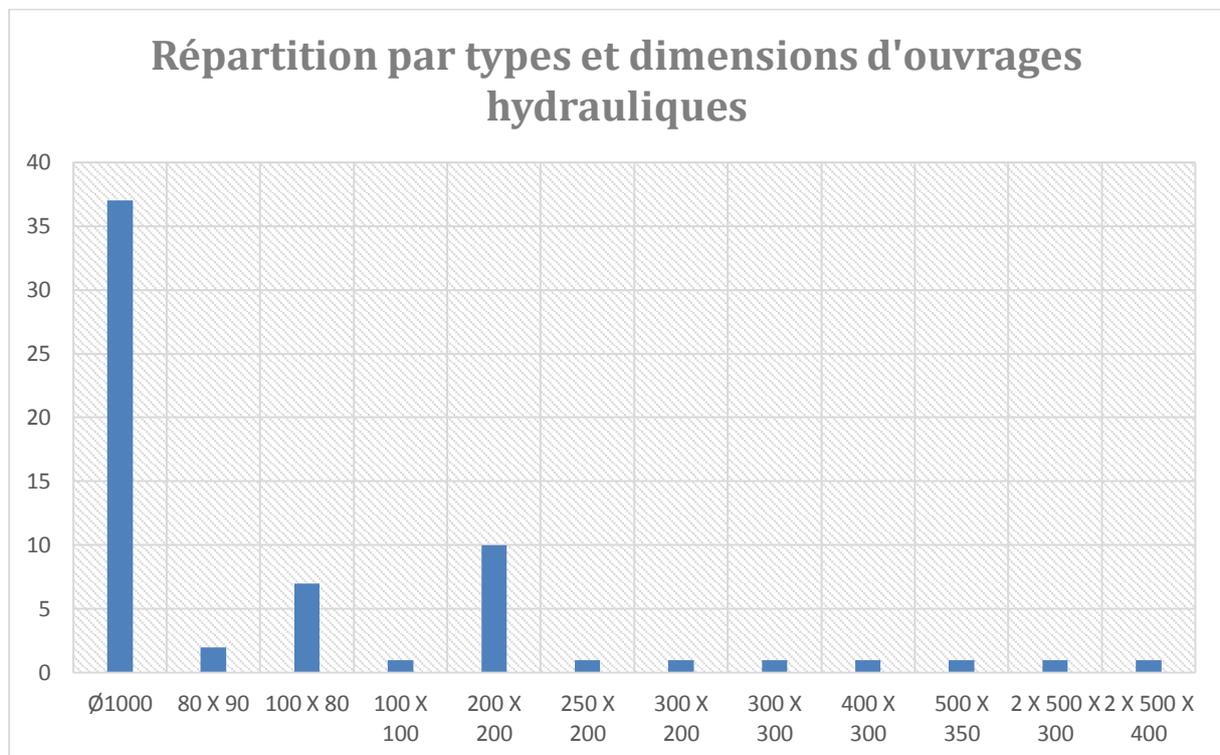
Au cours des travaux de diagnostic et des inventaires sur le terrain et aussi après des enquêtes réalisées auprès des riverains de la route, il est constaté que :

- ❖ Beaucoup d'ouvrages sont enherbés en amont comme en aval, réduisant ainsi leur capacité hydraulique ;
- ❖ A certains endroits de la route, les eaux pluviales traversent la route de part et d'autre causant ainsi des problèmes au niveau de la circulation et constitue une des causes de dégradation de la chaussée comme les écoulements transversaux qui coupe la chaussée, le ravinement, les nids de poule, etc.

Leurs états et dimensions sont récapitulés dans le tableau 12 ci – après et traduit à travers le graphique 1 qui suit:

TABLEAU 12 : REPARTITION PAR TYPES ET DIMENSIONS D'OUVRAGES HYDRAULIQUES

Types d'ouvrages hydrauliques	Numéro	Dimensions de l'ouvrage	Nombre d'ouvrages	Etat structurel de l'ouvrage	Etat fonctionnel de l'ouvrage	
Buses	1	Ø1000 mm	37	Bon état	Bon état	
	Dalots	2	80 X 90	2	Bon état	Bon état
		3	100 X 80	7	Bon état	Bon état
		4	100 X 100	1	Bon état	Bon état
		5	200 X 200	10	Bon état	Bon état
		6	250 X 200	1	Bon état	Bon état
		7	300 X 200	1	Bon état	Bon état
		8	300 X 300	1	Bon état	Bon état
		9	400 X 300	1	Bon état	Bon état
		10	500 X 350	1	Bon état	Bon état
		11	2 X 500 X 300	1	Bon état	Bon état
		12	2 X 500 X 400	1	Bon état	Bon état
Total			64			



GRAPHIQUE 1 : REPARTITION PAR TYPES ET DIMENSIONS D'OUVRAGES HYDRAULIQUES

Par ailleurs, malgré le bon état des ouvrages, il suffirait en plus de vérifier leurs sections hydrauliques. Mais aussi il nécessiterait d'augmenter le tirant d'air des ouvrages à ces points critiques du réseau en tenant compte du niveau des plus hautes eaux (PHE). Egalement, il paraît nécessaire de remplacer toutes les buses par des dalots de telle manière qu'ils doivent avoir des dimensions intérieures telles que la visite pour nettoyer en soit possible. Pour cela, il est donné un débouché qui satisfasse aux conditions suivantes :

- ❖ Hauteur supérieure à 1,00 m ;
- ❖ Largeur supérieure à 1,00 m.

II.2. Diagnostic et inventaire des ponts existants

Depuis l'origine du projet (du PK 0+000), huit (08) ouvrages d'art tels que les ponts ont été recensés dont quatre (04) répertoriés sur notre tronçon. Le diagnostic de chacun de ces ouvrages est présenté en annexe 7 à la page 40 des annexes. Leur description prend en compte le relevé des dégradations observées lors de l'inspection visuelle avec des photographies à l'appui.

Les principales dégradations relevées sont :

- ❖ L'endommagement des garde – corps ;
- ❖ La dégradation des joints de chaussée et de trottoirs ;
- ❖ La dégradation des quarts de cône ;
- ❖ La dégradation des protections des berges en gabions ou en perrés ;
- ❖ L'encombrement du lit amont et aval par la végétation et les arbres ;
- ❖ L'ensablement du lit du cours d'eau ;
- ❖ Les descentes d'eau bouchées et enherbées ;
- ❖ Les descentes d'eau endommagées.

En dehors de ces dégradations observées, l'état général des ouvrages est bon et leur fonctionnement est satisfaisant. Il ne suffira donc qu'à procéder aux travaux de réhabilitation et d'aménagements confortatifs. L'inventaire des ouvrages est récapitulé dans le tableau 13 ci – après :

TABLEAU 13 : INVENTAIRE DES PONTS

N° de l'ouvrage d'art	PK	Longueur (m)	Etat structurel	Etat fonctionnel	Bassin versant	Fonction	Sens d'écoulement
1	73+379	31,00	Bon	Bon	BV 13	Franchissement	G vers D
2	98+670	22,10	Bon	Bon	BV 18	Franchissement	D vers G
3	106+650	30,00	Bon	Bon	BV 19	Franchissement	G vers D
4	108+975	25,00	Bon	Bon	BV 21	Franchissement	D vers G

Les différents types de pont retrouvés sur le tronçon sont les suivants :

TABLEAU 14 : RECAPITULATIF DES OUVRAGES D'ART EXISTANTS

N° de l'ouvrage d'art	Localisation PK	Type de pont	TABLIER					APPUIS			EQUIPEMENTS
			Longueur totale (m)	Largeur de la chaussée (m)	Largeur y compris les trottoirs (m)	Nombre de travée	Etat	Nature	Hauteur (m)	Etat	
1	73+379	PSI - BA	31,00	7,00	9,20	2	Bon	2 colonnes	5,50	Bon	Bon
2	98+670	PSI - BA	22,10	8,00	9,20	1	Bon	Pas de colonnes	5,50	Bon	Bon
3	106+650	PSI - BA	30,00	7,90	9,00	1	Bon	Pas de colonnes	6,00	Bon	Bon
4	108+975	PSI - BA	25,00	8,00	9,00	1	Bon	Pas de colonnes	4,60	Bon	Bon

Il est à noter que sur le lot 1 du projet et précisément au PK 44+350 qui ne fait pas partie de l'étude, il y est retrouvé un pont de type VIPP à 04 travées d'une longueur totale de 105 m, d'une largeur de 10,10 m et d'une hauteur de 5,50 m.

II.3. Vérification des ouvrages hydrauliques existants

Les capacités des ouvrages hydrauliques ont été comparées aux débits calculés issus des bassins versants correspondants.

Suivant la pente longitudinale de l'ouvrage, qu'elle soit inférieure ou supérieure à la pente critique, la capacité hydraulique de l'ouvrage existant sera vérifiée soit en régime fluvial ($I < I_c$), soit en régime torrentiel ($I > I_c$). Mais pour assurer une bonne évacuation des débits, empêcher le dépôt des particules solides et réduire les risques d'obstruction par charriage solide (branches d'arbustes, détritiques, déchets divers, etc.), les ouvrages hydrauliques projetés seront dimensionnés en régime torrentiel.

II.3.1. Régime fluvial

Pour le régime fluvial ($I < I_c$), la capacité hydraulique de l'ouvrage est déterminée par la formule de Manning – Strickler qui suit :

$$Q = K_s \times S_m \times R_H^{2/3} \times \sqrt{I}$$

II.3.2 Régime torrentiel

Pour le régime torrentiel ($I > I_c$), les paramètres et les résultats proviennent de très nombreux travaux de recherche et de mesure sur le terrain dont la récapitulation est donnée par le document intitulé «Hydraulic chart for the selection of highway culverts » du « department of transportation » des Etats Unis. Une synthèse complète de ces résultats est également présentée sous forme de variables adimensionnelles et de courbes représentatives dans le document intitulé « Hydraulique routière » du BCEOM. Le débit de l'ouvrage est déterminé par l'expression suivante :

$$Q = C \times S_m \times \sqrt{[2 \times g \times (H_1 - y_n)]}$$

A. Hauteur amont H_1 et type d'écoulement dans l'ouvrage

La hauteur est déterminée expérimentalement et peut se mettre sous la forme suivante en faisant intervenir des paramètres adimensionnels Q^* et H_1^* :

$$Q^* = \text{fonction}(H_1^*)$$

Selon le type d'ouvrage, cette relation peut s'écrire sous les formes suivantes :

1. Pour les buses circulaires :

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{2 \times g \times D^5}}$$

$$H_1^* = \frac{H_1}{D}$$

D est le diamètre de la buse et g l'accélérateur de pesanteur.

2. Pour les dalots :

$$Q^* = \frac{Q}{B \times D \times \sqrt{2 \times g \times D}}$$

$$H_1^* = \frac{H_1}{D}$$

B est la largeur du dalot et D sa hauteur.

Selon la profondeur H_1 , on distingue deux conditions d'écoulement dans l'ouvrage :

- ❖ Si $H_1 \leq 1,25D$, l'écoulement se fait à surface libre dans l'ouvrage ;
- ❖ Si $H_1 > 1,25D$, l'écoulement peut se faire à surface libre mais à section pleine dans l'ouvrage.

Dans cette étude, les ouvrages hydrauliques projetés, les dalots, seront dimensionnés en écoulement à surface libre et en régime torrentiel $H_1 \leq 1,25D$.

B. Pente de l'ouvrage

Pour assurer l'écoulement en régime torrentiel, il faut que la pente longitudinale I de l'ouvrage soit supérieure ou égale à la pente critique I_c .

La pente critique est déterminée expérimentalement par la relation suivante faisant intervenir les variables adimensionnelles Q^* et I_c^* :

$$Q^* = \text{fonction}(I_c^*)$$

Pour les deux types d'ouvrage, cette relation peut s'écrire sous les formes suivantes :

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{g \times B^5}}$$

$$I_c^* = \frac{I_c}{\frac{g}{K_s^2 \times B^{\frac{1}{3}}}}$$

Le paramètre B représente la largeur de l'ouvrage dans le cas d'un dalot et le rayon dans le cas d'une buse circulaire.

C. Vitesse d'écoulement dans l'ouvrage

Dans le projet, pour les ouvrages hydrauliques en béton, la vitesse ne doit pas dépasser 3,5 m/s $\Rightarrow V_{\max} = 3,5$ m/s.

La vitesse d'écoulement dans l'ouvrage est déterminée expérimentalement par la relation suivante faisant intervenir les variables adimensionnelles Q^* et V^* .

$$Q^* = \text{fonction}(V^*)$$

Pour les deux types d'ouvrage, cette relation peut s'écrire sous les formes suivantes :

$$Q^* = \frac{Q}{K_s \times \sqrt{I} \times B^{8/3}}$$

$$V^* = \frac{V}{K_s \times \sqrt{I} \times B^{2/3}}$$

Le calcul et le dimensionnement des ouvrages sont menés en considérant certaines hypothèses liées à la pérennité des ouvrages et aux incertitudes d'entretien, notamment :

- ❖ La vitesse de l'eau dans l'ouvrage reste limitée à 3,5 m/s ;
- ❖ La hauteur de remplissage ne dépasse pas 80%.

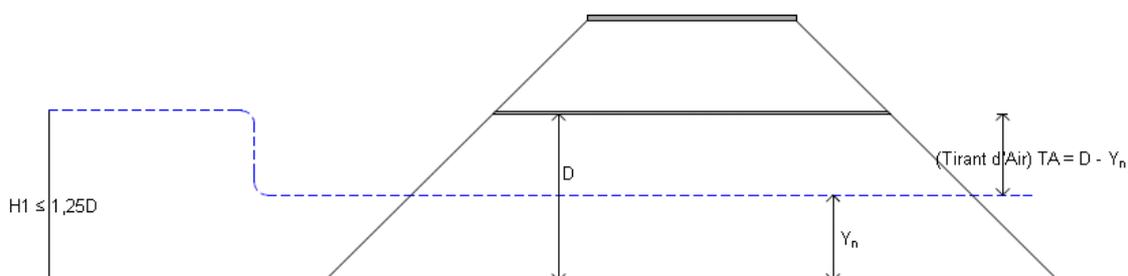


FIGURE 5 : SCHEMA DE L'ECOULEMENT DANS L'OUVRAGE

Le tableau 15 ci – dessous donne l'ensemble des calculs effectués pour vérifier la section hydraulique des buses et des dalots ce qui permet de savoir si l'ouvrage est sous –

dimensionné ou pas.

TABLEAU 15 : VERIFICATION DES SECTIONS HYDRAULIQUES

Ks	g	Bassins versants	Localisation	Débits Q10	DIMENSIONS DE L'OUVRAGE				ECOULEMENT			PENTE LONGITUDINALE				VITESSE			REMPLISSAGE DE L'OUVRAGE			Conclusion	Commentaires	Ouvrages proposés (Dalots)		
					Section	Nombre de cellules	B	D	Q*	HI*	HI	Type d'écoulement dans l'ouvrage	Q*	Ie*	Ic %	I	Q*	V*	V	Tirant d'eau yn (m)	yn %				Tirant d'air (TA)	
67	9,81	1	PK 3+183	14,03	Base	01000	1	0	1	3,17	8,50	8,50	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	25,34	8,67	2,39	0,004	21,02	0,66	1,76	5,56	556	-4,56	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	120 X 120
67	9,81	1	PK 3+213	14,03	Dalot	100X100	1	1	1	3,17	21,35	21,35	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	4,48	8,67	1,89	0,004	3,31	0,66	2,80	5,57	557	-4,57	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	120 X 120
67	9,81	2	PK 5+334	5,4	Dalot	200X200	1	2	2	0,22	0,70	1,40	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,30	3,08	0,53	0,004	0,20	0,4	2,69	1,01	50,5	0,99	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	200 X 200
67	9,81	3	PK 8+624	6,71	Dalot	200X200	1	2	2	0,27	0,81	1,62	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,38	3,22	0,56	0,0045	0,24	0,41	2,93	1,14	57	0,86	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	200 X 200
67	9,81	4	PK 9+534	10,26	Base	01000	1	0	1	2,32	5,95	5,95	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	18,53	8,67	2,39	0,0045	14,49	0,66	1,87	3,92	392	-2,92	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	120 X 120
67	9,81	6	PK 16+600	38,88	Dalot	200X200	1	2	2	1,55	6,34	12,67	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	2,19	6,01	1,04	0,0055	1,23	0,56	4,42	4,47	223,5	-2,47	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	250 X 200
67	9,81	8	PK 30+125	23,71	Dalot	3X200X200	3	2	2	0,95	2,73	5,46	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	1,34	4,88	0,85	0,0055	0,75	0,52	4,10	2,9	145	-0,9	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	Peut être maintenu	3 X 200 X 200
67	9,81	9	PK 36+614	26,87	Dalot	2X300X200	2	3	2	0,71	1,94	3,88	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	0,55	3,58	0,54	0,0075	0,25	0,42	5,07	1,77	88,5	0,23	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	Peut être maintenu	2 X 300 X 200
67	9,81	11	PK 58+700	9,56	Dalot	200X200	1	2	2	0,38	1,03	2,06	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,54	3,57	0,62	0,005	0,32	0,44	3,31	1,43	71,5	0,57	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	200 X 200
67	9,81	12	PK 68+025	10,75	Dalot	200X200	1	2	2	0,43	1,12	2,23	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,61	3,66	0,63	0,004	0,40	0,46	3,09	1,72	86	0,28	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	Peut être maintenu	200 X 200
67	9,81	14	PK 78+462	4,93	Dalot	200X200	1	2	2	0,20	0,66	1,32	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,28	3,02	0,52	0,004	0,18	0,39	2,62	0,94	47	1,06	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	200 X 200
67	9,81	15	PK 85+233	19,15	Dalot	200X200	1	2	2	0,76	2,09	4,18	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	1,08	4,45	0,77	0,006	0,58	0,49	4,04	2,34	117	-0,34	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	250 X 200
67	9,81	16	PK 86+855	14,16	Dalot	200X200	1	2	2	0,57	1,49	2,98	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	0,80	4	0,69	0,004	0,53	0,48	3,23	2,15	107,5	-0,15	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	250 X 200
67	9,81	17	PK 90+820	5,08	Dalot	200X200	1	2	2	0,20	0,67	1,34	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,29	3,08	0,53	0,0075	0,14	0,36	3,32	0,76	38	1,24	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	200 X 200
67	9,81	20	PK 100+372	5,26	Dalot	100X80	1	1	0,8	1,66	7,10	5,68	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	1,68	5,35	1,17	0,0075	0,91	0,52	3,02	2,3	287,5	-1,5	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	120 X 120
67	9,81	22	PK 114+682	12,61	Base	201000	2	0	1	2,85	7,54	7,54	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	22,77	5,35	1,47	0,004	18,90	0,66	1,76	1,96	196	-0,96	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	2 X 120 X 120
67	9,81	23	PK 115+620	27,44	Dalot	2X500X400	2	5	4	0,15	0,56	2,24	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,16	2,78	0,36	0,004	0,09	0,32	3,96	1,394	34,85	2,606	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	2 X 500 X 400
67	9,81	24	PK 117+685	14,65	Dalot	300X300	1	3	3	0,21	0,69	2,08	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,30	3,07	0,47	0,007	0,14	0,36	4,20	1,157	38,57	1,843	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	300 X 300
67	9,81	25	PK 118+462	35,32	Dalot	500X350	1	5	3,5	0,24	0,76	2,66	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,20	2,87	0,37	0,004	0,11	0,34	4,21	1,666	47,6	1,834	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	500 X 350
67	9,81	26	PK 120+061	50,1	Dalot	2X500X300	2	5	3	0,44	1,13	3,38	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,29	3,06	0,39	0,004	0,16	0,38	4,71	2,147	71,57	0,853	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	2 X 500 X 300
67	9,81	27	PK 122+609	17,07	Dalot	260X200	1	2,6	2	0,52	1,37	2,74	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	0,50	3,46	0,55	0,0045	0,30	0,44	3,74	1,77	88,5	0,23	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	300 X 200
67	9,81	28	PK 123+243	13,46	Base	201000	2	1	1	3,04	8,12	8,12	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	24,31	8,67	2,39	0,004	20,17	0,66	1,76	2,06	206	-1,06	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	2 X 200 X 200
67	9,81	28	PK 123+268	13,46	Base	01000	1	0	1	3,04	8,12	8,12	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	24,31	8,67	2,39	0,004	20,17	0,66	1,76	5,35	535	-4,35	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	200 X 200
67	9,81	29	PK 130+255	15,38	Base	201000	2	0	1	3,47	9,42	9,42	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	27,78	8,67	2,39	0,004	23,05	0,66	1,76	2,3	230	-1,3	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	2 X 120 X 120
67	9,81	30	PK 131+015	10,58	Base	201000	2	0	1	2,39	6,17	6,17	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	19,11	8,67	2,39	0,0045	14,95	0,66	1,87	1,62	162	-0,62	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	2 X 120 X 120
67	9,81	31	PK 131+728	12,46	Dalot	200X200	1	2	2	0,50	1,29	2,58	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	0,70	3,84	0,67	0,004	0,46	0,48	3,23	1,94	97	0,06	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	Peut être maintenu	200 X 200
67	9,81	32	PK 132+535	10,23	Dalot	200X200	1	2	2	0,41	1,08	2,16	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,58	3,64	0,63	0,0045	0,36	0,46	3,28	1,58	79	0,42	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	200 X 200
67	9,81	33	PK 133+196	9,21	Dalot	200X200	1	2	2	0,37	1,01	2,01	Sortie libre avec écoulement à surface libre dans l'ouvrage	0,52	3,5	0,61	0,005	0,31	0,45	3,38	1,39	69,5	0,61	L'ouvrage existant est suffisant	A maintenir	200 X 200
67	9,81	34	PK 134+789	12,6	Base	01000	1	0	1	2,84	7,53	7,53	Écoulement à section pleine dans l'ouvrage	22,76	8,67	2,39	0,005	16,89	0,66	1,97	4,52	452	-3,52	L'ouvrage existant est sous-dimensionné	A remplacer	120 X 120

L'annexe 11 à la page 47 des annexes présente plus clairement et succinctement les différents calculs de vérification des sections hydrauliques.

II.4. Dimensionnement hydraulique des ouvrages projetés

Les ouvrages existants sous – dimensionnés sont redimensionnés. Par conséquent, les sections d'ouvrage seront changées et toutes les buses seront remplacées par des dalots car les dimensions d'une buse dépassent rarement 1,20 m et leur curage n'est pas aussi aisé que les dalots en cas de dépôts.

L'annexe 15 à la page 59 des annexes présente la suite des ouvrages hydrauliques proposés. Le tableau suivant donne les résultats de quatre ouvrages proposés :

TABLEAU 16 : SECTION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES PROJETES

Bassins versants	Localisation	Débits Q10	DIMENSIONS DE L'OUVRAGE				Tirant d'eau y_n (m)	Ouvrages proposés	
			Section	Nombre de cellules	B	D			
15	PK 85+233	19,15	Dalot	200 x 200	1	2	2	2,34	250 x 200
16	PK 86+855	14,16	Dalot	200 x 200	1	2	2	2,15	250 x 200
20	PK 100+372	5,26	Dalot	100 x 80	1	1	0,8	2,3	120 x 120
27	PK 122+609	17,07	Dalot	260 x 200	1	2,6	2	1,77	300 x 200

II.4.1. Remplacement des buses par des dalots

A. Justification

Trente – sept (37) buses sont répertoriées dans le projet et la plupart d'entre – elles ont été posées avant le bitumage de la route existante.

La justification du remplacement des buses part d'abord du fait qu'étant donné que le tronçon routier sera une route de première catégorie et que dans la perspective de la construction du port sec de Parakou, il y aura un trafic dévié important qui est estimé de type T3 mais aussi dans certains cas où le recouvrement sur la buse n'est pas suffisant pour protéger l'ouvrage. Ensuite, le témoignage des riverains qui révèlent qu'à certains points de la route, les eaux de ruissellement traversent la chaussée, ce qui pose un problème de capacité hydraulique de ces ouvrages qui conduit à une nécessité d'augmenter le tirant d'eau en tenant compte du niveau des PHE. Enfin, pour se conformer aux normes UEMOA.

Dans ces conditions, en dépit du fait que ces ouvrages sont en bon état fonctionnel et structurel, ils seront tous remplacés par des dalots qui sont dimensionnés en conséquence pour supporter les charges roulantes attendues.

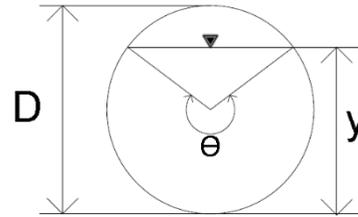
B. Principe de calcul

Le débit d'une buse à surface libre est maximum lorsqu'elle est remplie au huit – dixième (8/10) de son diamètre. L'équation générale d'un écoulement à surface libre dans une section constante est celle de Manning – Strickler qui s'écrit sous la forme :

$$Q = K_s \times S \times R_H^{2/3} \times \sqrt{I}$$

Pour obtenir la largeur et la hauteur du dalot, il nous suffit de résoudre l'équation suivante : **$S \times R_H^{2/3}$ de la buse = $S \times R_H^{2/3}$ du dalot**. Dans notre cas, K_s et I sont identiques.

$$\frac{K_s \times \sqrt{I} \text{ (de la buse)}}{K_s \times \sqrt{I} \text{ (du dalot)}} = 1$$



$$\theta = 2 \times \cos^{-1} \left(1 - \frac{2y}{D} \right); S = \frac{D}{8} \times (\theta - \sin \theta); P = \frac{D \times \theta}{2} \text{ et } R_H = \frac{S}{P} \text{ où } \theta \text{ est en radian.}$$

Après les calculs et la vérification des sections de toutes les buses, nous obtenons les résultats suivants :

TABLEAU 17 : DALOTS PROPOSES POUR LE REMPLACEMENT DES BUSES

Ouvrages	Diamètre (m)	Largeur de dalot	y maximum (m)	θ Radian	S (m ²)	P (m)	RH (m)	S X R _H ^{2/3} de la buse	Largeur du dalot proposée	y maximum (m)	S (m ²)	P (m)	RH (m)	S X R _H ^{2/3} du dalot	Tirant d'air (m)	Hauteur du dalot (m)	Ouvrages proposés
Ø1000	1,00	1,18	0,80	9,56	1,21	4,78	0,25	0,49	1,20	0,80	0,96	2,80	0,34	0,47	0,40	1,20	120 x 120
2Ø1000	1,00	1,18	0,80	9,56	1,21	4,78	0,25	0,49	1,20	0,80	0,96	2,80	0,34	0,47	0,40	1,20	2 x 120 x 120

Compte tenu de la conception géométrique de la route, de la ligne rouge du projet et dans le souci d'harmoniser les ouvrages, il nous est convenu d'adopter un dalot de dimension unique de 120 x 120 et de 2 x 120 x 120 pour l'ensemble des buses à remplacer qu'elles soient simples ou double exceptés les ouvrages situés au PK 123+243 et 123+268 où le tirant d'eau très élevé nous amène à recourir respectivement aux ouvrages de section 200 x 200 et 2 x 200 x 200.

II.5. Vérification des ponts existants

Le dimensionnement d'un pont implique la fixation de très nombreux paramètres en fonction du site, des caractéristiques du cours d'eau et du service à assurer par l'ouvrage. A l'égard des caractéristiques du cours d'eau et plus particulièrement de ses crues, les paramètres principaux suivants sont ceux qui définissent le débouché offert à l'écoulement :

- A. Les côtes de l'intrados ;
- B. L'emplacement des culées ;
- C. Le nombre, les formes et l'implantation des piles.

Ces paramètres ont une influence assez forte sur le coût de l'ouvrage. Le diagnostic de ces ouvrages d'art avec des photographies à l'appui est présenté en annexe 7 à la page 40 des annexes et permet de conclure que les ouvrages sont en bon état structurel et fonctionnel.

Par définition, le pont est un ouvrage d'art qui permet à une voie de communication de franchir un cours d'eau. Cependant, en ce qui concerne ces ouvrages dans cette étude, le calcul hydraulique ne s'est pas avéré nécessaire car il s'agit du franchissement de cours d'eau et de thalweg dont il est question de franchir. Également, une étude hydrologique permettrait d'apprécier la fréquence de la crue du projet mais en effet, la présence d'un ouvrage d'art apporterait dans la plupart des cas une surélévation de la côte naturelle de l'eau. Cette surélévation sera plus ou moins grande selon l'importance des perturbations que cet ouvrage apporte à l'écoulement de la crue.

En général, les ponts sont diagnostiqués et leur état fonctionnel et structurel est bon. Cependant, un ensemble de travaux confortatifs et de réhabilitation sont nécessaires pour leur remise en état. Ces travaux sont récapitulés dans un tableau situé en annexe 16 à la page 63 des annexes.

CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DES **OUVRAGES HYDRAULIQUES**

Dans cette partie, nous procéderons au dimensionnement des dalots en considérant dans chaque cas, le cas de charge le plus défavorable.

III.1. Pré dimensionnement

Le pré dimensionnement des types de dalots à remplacer est récapitulé dans le tableau suivant :

TABLEAU 18 : PRE DIMENSIONNEMENT DES DALOTS

Type d'ouvrage	Epaisseur de dalle retenue (cm)	Epaisseur des piédroits retenus (cm)	Epaisseur du radier (cm)	Epaisseur des murs en aile (cm)
120 x 120	20	20	20	15
2 x 120 x 120	20	20	20	15
200 x 200	25	25	25	20
2 x 200 x 200	25	25	25	20
250 x 200	25	25	25	25
300 x 200	25	25	25	25

Il est procédé au dimensionnement des ouvrages **120 x 120 ; 2 x 120 x 120 ; 2 x 200 x 200** et **300 x 200**.

III.2. Calcul structural des dalots

Puisque nous sommes en fissuration préjudiciable, les calculs se sont réalisés à l'ELS.

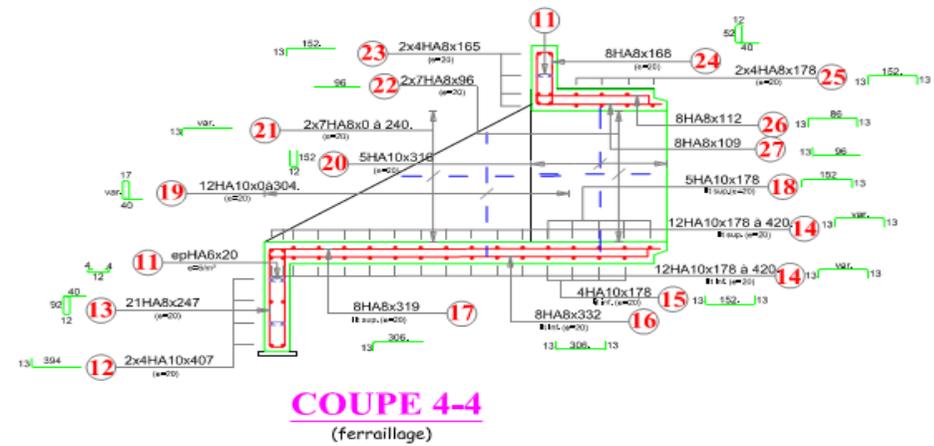
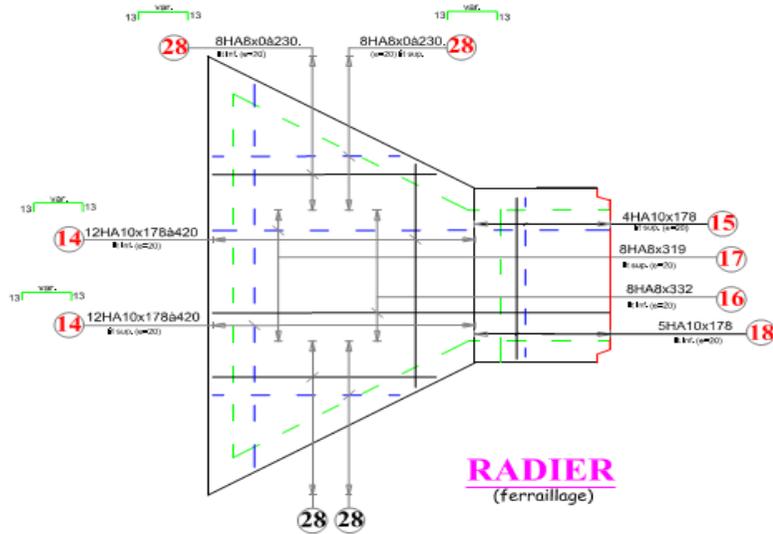
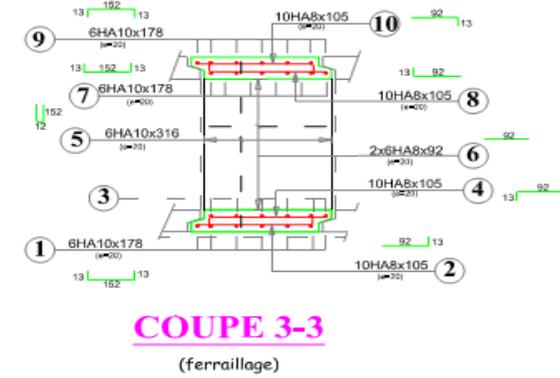
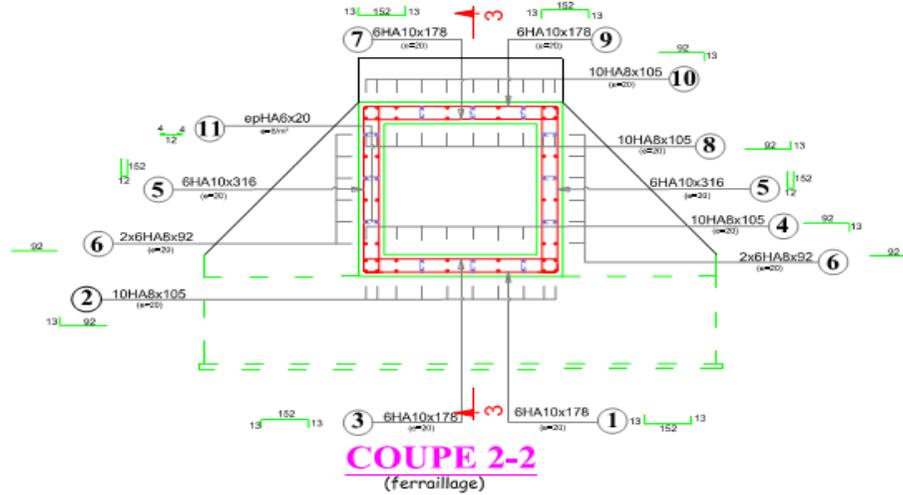
III.2.1. Dalot 120 x 120

En tout, vingt-sept (27) dalots de cette section sont à construire. Leur mode de construction est la préfabrication. Les parties d'ouvrage seront fabriquées à l'unité de préfabrication puis convoyé au chantier pour la pose. Toutefois, nous convenons de réaliser d'abord nos calculs en considérant des dalots in situ dont le processus de calcul est sous peu différent de celui fabriqué, ensuite comparer leurs ferraillements et enfin, conclure. Après analyse des caractéristiques de chaque ouvrage, nous convenons de procéder au dimensionnement du dalot situé au PK 114+531 long de 19,40 m. L'annexe 17 à la page 65 des annexes présente la note de calcul. Le résultat des armatures

est présenté dans le tableau 19 qui suit :

TABLEAU 19 : RECAPITULATIF DES ARMATURES DES PARTIES D'OUVRAGE

Récapitulatif des aciers du dalot 120 x 120							
Parties d'ouvrage	Dalle supérieure (tablier)			Dalle inférieure (radier)			Piédroits
Caractéristiques	b = 1,00 m; h = 0,20 m			b = 1,00 m; h = 0,20 m			a = 0,20 cm; b = 1,00 m h = 1,00 m
Sections d'ouvrage	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Appui	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Appui	Rive
Moment maximal (MN.m/ml)	0,01576	/	0,01009	0,01009	/	0,0045	/
Aciers principaux	7HA10	7HA10	5HA10	5HA10	5HA10	4HA8	8HA10
Espacement (cm)	15	15	20	20	20	25	15
Aciers de répartition	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8
Espacement (cm)	25	25	25	25	25	25	25
Chevaliers	HA8						



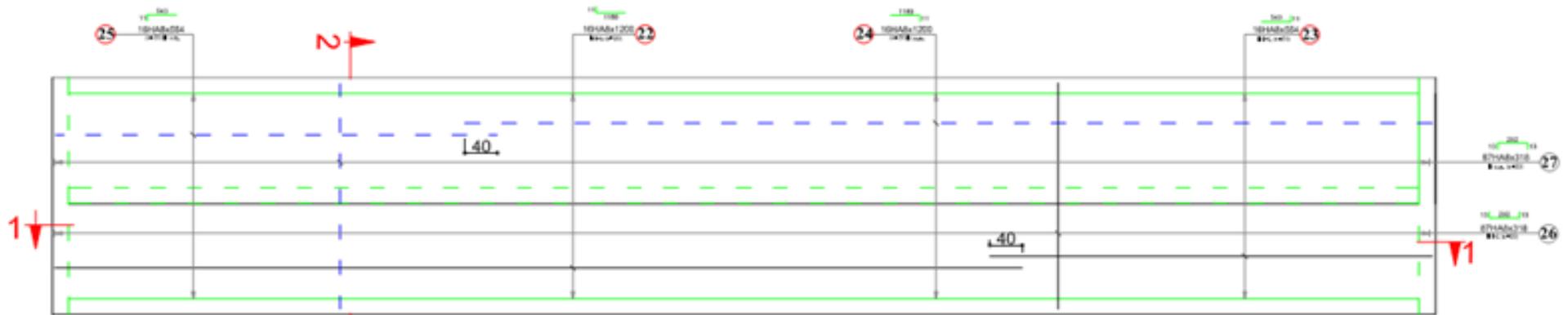
DALOT 1x120x120:PK114+519 coupes sur ferrailage	
PLAN N°	ECHELLE
OVD 09 - PLA 01 - REV00	1 / 40

III.2.2. Dalot 2 x 120 x 120

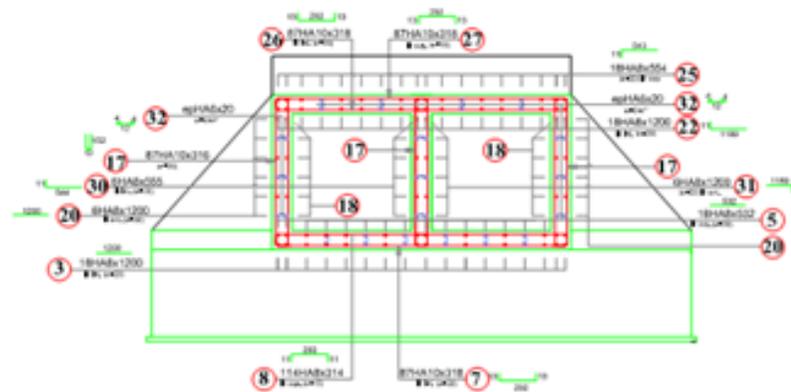
Sept (07) dalots doubles de cette section sont à construire. Leur mode de construction est in – situ. Après analyse des caractéristiques de ces ouvrages, nous convenons de procéder au dimensionnement du dalot situé au PK 87+967 long de 17 m. L'annexe 18 à la page 80 des annexes présente la note de calcul.

TABLEAU 20 : RECAPITULATIF DU CHOIX DES ACIERS

Récapitulatif des aciers du dalot 2 x 120 x 120										
Parties d'ouvrage	Dalle supérieure (tablier)				Dalle inférieure (radier)				Piédroits	
Caractéristiques	b = 1,00 m; h = 0,25 m				b = 1,00 m; h = 0,25 m				a = 0,25 m;	
									b = 1,00 m	
									h = 1,00 m	
Sections d'ouvrage	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Appuis de rive	Appui central	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Appuis de rive	Appui central	Rive	Central
Moment maximal (MN.m/ml)	0,01587	/	0,01119	0,00844	0,00656	/	0,00143	0,02446	0,01205	/
Aciers principaux	7HA10	7HA10	4HA10	4HA10	4HA10	4HA10	4HA8	6HA10	8HA10	8HA10
Espacement (cm)	15	15	25	25	25	25	25	17	15	15
Aciers de répartition	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8
Espacement (cm)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Chevaliers	HA8									



DALLE
(ferrailage)



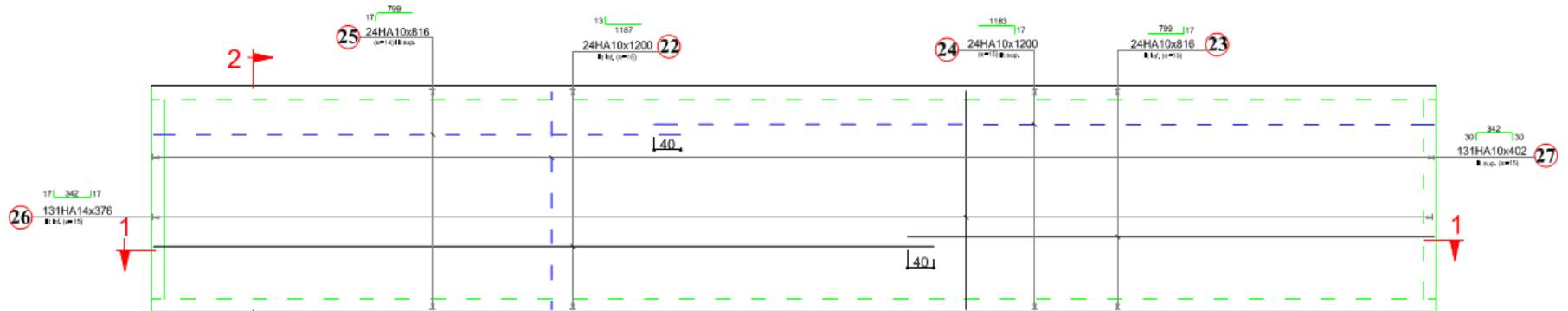
COUPE 2-2
(ferrailage)

III.2.3. Dalot 300 x 200

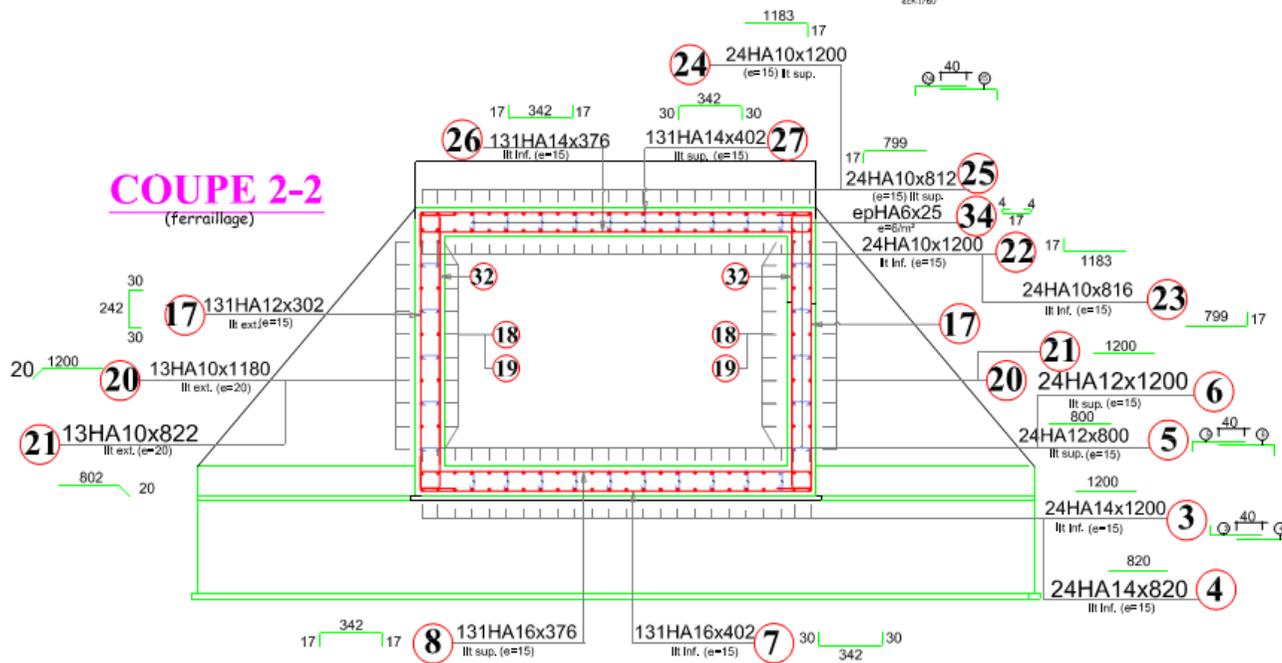
Après la vérification de sa section hydraulique, le dalot existant 260 x 200 situé au PK 122+609 sera remplacé par celui de section 300 x 200. La note de calcul est présentée en annexe 19 à la page 93 des annexes.

TABLEAU 21 : RECAPITULATIF DU CHOIX DES ACIERS

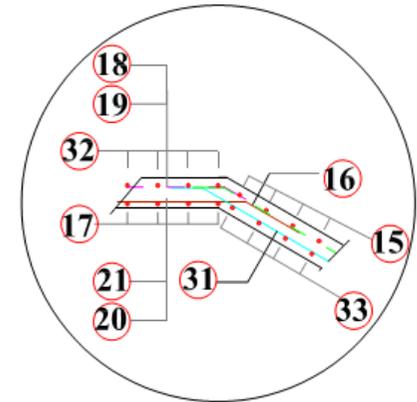
Récapitulatif des aciers du dalot 300 x 200							
Parties d'ouvrage	Dalle supérieure (tablier)			Dalle inférieure (radier)			Piédroits
Caractéristiques	b = 1,00 m; h = 0,25 m			b = 1,00 m; h = 0,25 m			a = 0,20 cm; b = 1,00 m h = 1,00 m
Sections d'ouvrage	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Appui	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Appui	Rive
Moment maximal (MN.m/ml)	0,09257	/	0,07371	0,05737	/	0,03182	/
Aciers principaux	13HA16	13HA14	10HA16	8HA16	8HA14	5HA16	10HA16
Espacement (cm)	10	10	10	15	15	20	10
Aciers de répartition	5HA14	5HA12	4HA14	4HA14	4HA12	4HA14	4HA14
Espacement (cm)	20	20	25	25	25	25	25
Chevaliers	HA8						



Dalle
 (ferrailage)
 éch. 1/60



COUPE 2-2
 (ferrailage)



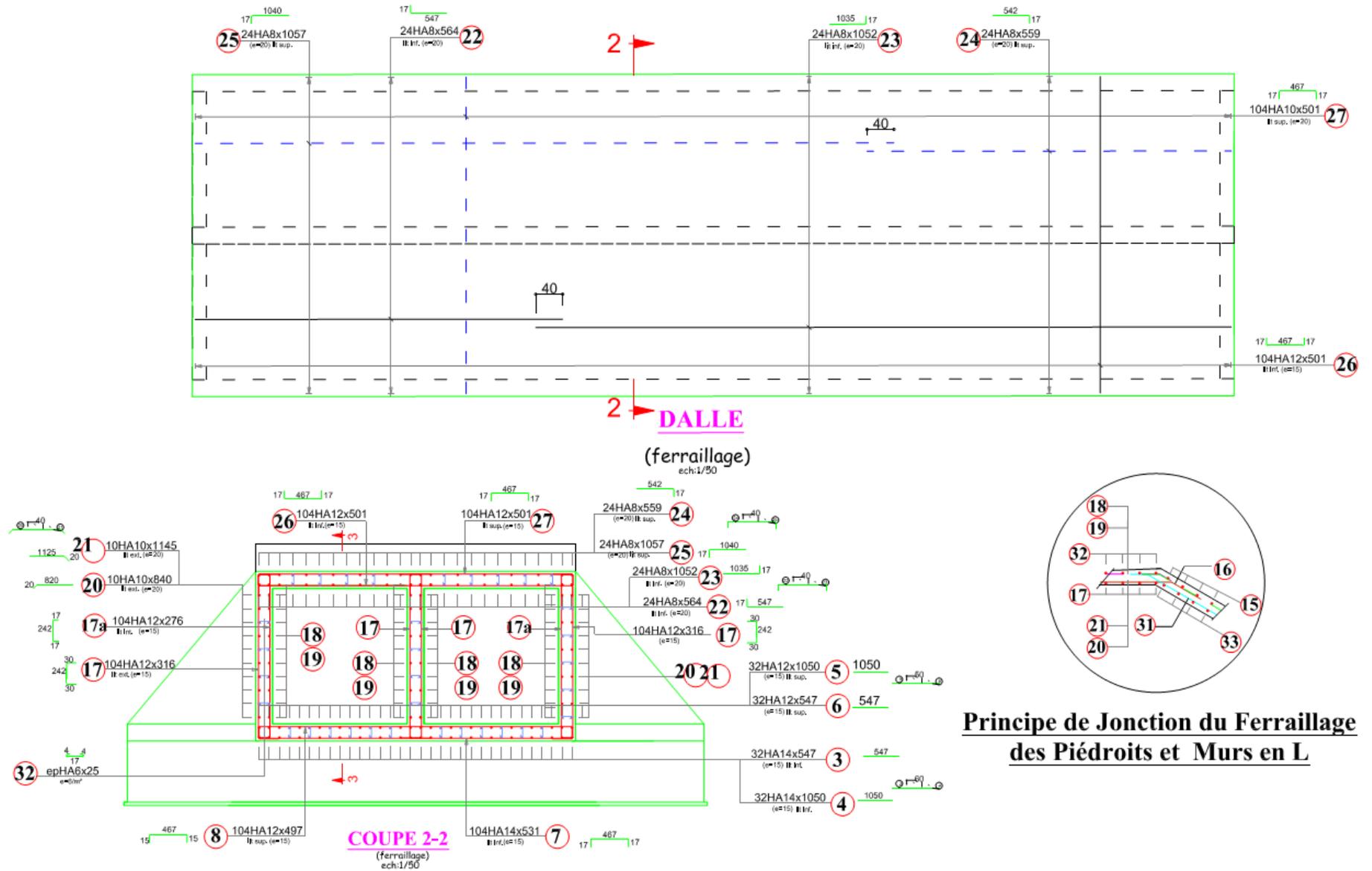
**Principe de Jonction du Ferrailage
 des Piedroits et Murs en L**

III.2.4. Dalot 2 x 200 x 200

La double buse 2Ø1000 situé au PK 123+243 sera remplacée par le dalot 2 x 200 x 200 après la vérification de sa section. La note de calcul est présentée en annexe 20 à la page 102 des annexes.

TABLEAU 22 : RECAPITULATIF DU CHOIX DES ACIERS

Récapitulatif des aciers du dalot 2 x 200 x 200										
Parties d'ouvrage	Dalle supérieure (tablier)				Dalle inférieure (radier)				Piédroits	
Caractéristiques	b = 1,00 m; h = 0,25 m				b = 1,00 m; h = 0,25 m				a = 0,25 cm; b = 1,00 m h = 1, 00 m	
Sections d'ouvrage	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Appuis de rive	Appui central	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Appuis de rive	Appui central	Rive	Central
Moment maximal (MN.m/ml)	0,03755	/	0,02794	0,02197	0,01323	/	0,003	0,02427	0,02794	/
Aciers principaux	9HA12	9HA12	7HA12	8HA10	5HA10	5HA10	4HA8	6HA12	8HA12	8HA12
Espacement (cm)	11	15	15	15	20	20	25	15	15	15
Aciers de répartition	4HA10	4HA10	4HA10	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA8	4HA10	4HA10
Espacement (cm)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Chevalets	HA8									



CHAPITRE IV : QUANTITATIF ET ESTIMATIF DES DALOTS

IV.1. Devis quantitatif et estimatif

Le devis quantitatif d'un ouvrage est le détail des quantités de matériaux de chaque partie d'ouvrage nécessaire à la mise en œuvre de l'ouvrage. Il représente les quantités en termes de distance, de surface et de volume des différents matériaux utilisés pour la construction de l'ouvrage. Le devis estimatif est élaboré à partir du devis quantitatif et 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. Les devis quantitatif et estimatif sont présentés en annexe 21 à la page 115 des annexes.

IV.2 Coût de revient

Le coût de revient d'un ouvrage représente la somme des coûts supportés par la réalisation de l'ouvrage. Il englobe les coûts de réalisation, les frais généraux et les frais spéciaux. Le coût de revient des ouvrages construits est présenté dans le tableau 23 suivant :

TABLEAU 23 : PRIX DE REVIENT PREVISIONNEL DES TROIS DALOTS 2 X 120 X 120

Tâches	Matériels utilisés	Unité	Quantité de chiffrage	Quantité totale	Prix unitaire FCFA	Prix total FCFA
Fouille de l'ouvrage	Pelle/évacuée	m3	88,000	264,000	3 560,52	939 977,28
Fouille de l'ouvrage	Pelle/non évacuée	m3	57,300	171,900	2 470,43	424 666,92
Bloc technique	Tractopelle, compacteur	m3	57,300	171,900	5 076,89	872 717,39
Corps du dalot	hiab	U	1,000	3,000	6 540 200,56	19 620 601,68
Tête dalot aval	hiab	U	1,000	3,000	903 597,37	2 710 792,11
Tête dalot amont	hiab	U	1,000	3,000	948 552,15	2 845 656,45
Fourniture, enrochement	Camions, chargeuse, hiab	m3	8,715	26,145	25 935,52	678 084,17
TOTAL DES TROIS DALOTS EN BETON ARME DE SECTION 2 X 120 X 120				3	9 364 165,33	28 092 496,00

En somme, après le calcul des différentes dépenses effectuées sur les chantiers et l'intervention de certains matériels qui n'étaient pas pris en compte dans les prévisions, le montant total des dalots revient à 31 182 671 F CFA soit 10 394 224 F CFA par dalot.

CHAPITRE V : DEMOLITION ET RECONSTRUCTION DES DALOTS

Pour parfaire les travaux de cette étude et dans le souci de maîtriser le savoir – faire, il a été procédé à la construction de trois dalots, tous de section 2 X 120 X120 situés respectivement aux PK 82+172, 87+967 et 93+684. Le planning d'exécution de ces ouvrages est présenté en annexe 23 à la page 125 des annexes. La méthodologie de leur construction est la suivante.

V.1. Méthodologie de construction

V.1.1. Implantation

L'implantation de la fouille dépend du plan de coffrage de l'ouvrage. La largeur de fouille est égale à la largeur de l'ouvrage plus une sur largeur de 2 m de part et d'autre de l'ouvrage. Si notre ouvrage est de 3 m de largeur par exemple, il nous faut juste compléter 2 m de part et d'autre, ce qui revient à une largeur de fouille de 7 m.

V.1.2. Démolition et fouille

Après l'implantation de la fouille, dans le cas où l'ouvrage existant est une buse, la pelle hydraulique procède à sa démolition en enlevant une à une les buses, ces buses qui seront utilisées pour la déviation. Dans le cas où l'ouvrage existant est un dalot, on procède à sa démolition par un BRH (Brise Roche Hydraulique).

V.1.3. Remblai et réglage du fond de fouille

Après la fouille, l'équipe topographique se charge d'implanter le fond de fouille à - 30 cm de la côte du béton de propreté de l'ouvrage. Ceci nous permet alors de faire un remblai de 30 cm d'épaisseur suivi d'un réglage manuel à l'aide de pelles manuelles par une équipe spécialisée. Ce remblai est compacté d'abord avec un Bomag BW 75 et ensuite par un Bomag BW 120 et enfin arrosé. L'équipe du laboratoire se charge de faire l'essai de compacité. Un bon résultat de compacité (dans notre cas, 95% de l'OPM) autorise le coulage du béton de propreté.

V.1.4. Béton de propreté

Suite à la réception du fond de fouille par le laboratoire, l'équipe topographique donne la côte du béton de propreté qui est de +5 cm au-dessus du fond de fouille. Place alors au coulage du béton dosé à 150 kg/m³ à l'aide d'un chariot télescopique (manitou).

V.1.5. Ferrailage des bêtes, du radier, des voiles, du tablier et des murs de tête

24 h après le coulage du béton de propreté, il est procédé à la fouille des bêtes par une tractopelle puis au coulage du béton de propreté de ces bêtes. Ensuite, la pose de la cage d'armatures des bêtes, le ferrailage du radier et celui des piédroits puis des murs en aile. Le ferrailage du tablier et des murs de tête se fait juste après le coffrage du tablier.

V.1.6. Coffrage et démontage des coffrages

Les coffrages sont à ossature bois avec la partie coffrant en contreplaqué. Avant tout assemblage de coffrage, les éléments sont d'abord bien nettoyés de toutes impuretés par des grattoirs et des brosses. Cette opération est effectuée régulièrement pour éviter tout défaut au moment du décoffrage.

Afin de faciliter le décoffrage, il est appliqué une huile de décoffrage (Sika Décoffrage Minéral) sur les parois du coffrage à l'aide d'un pulvérisateur. L'écartement des panneaux et le contrôle de l'épaisseur des voiles est assuré au moyen des tiges filetées associées à des écrous à oreillettes (papillons). En fonction de la surface de voile à coffrer, il est utilisé 04 tiges pour les panneaux de 120 x 160 cm et 06 tiges pour les panneaux de 250 x 200 cm. Le décoffrage se fait 24 h après le coulage.

V.1.7. Coulage des ouvrages élémentaires

Après la réception du ferrailage et du coffrage du radier posé sur les cales en béton assurant l'enrobage de 4 cm, le coulage se fait avec du béton dosé à 400 kg/m³ par un camion grue (Hiab) équipé d'une benne à béton. Les piédroits, le tablier et les murs de tête sont coulés de la même manière avec un béton dosé à 400 kg/m³. Après le décoffrage, les surfaces bétonnées sont arrosées pour une bonne cure de béton et sur le tablier sont posés des toiles de jute imbibées d'eau.

V.1.8. Traitement de surface des ouvrages

Tous les défauts de bétonnage, que ceux – ci soient des nids de cailloux, des bulles d'air sont traités immédiatement après le décoffrage avec du mortier auquel s'ajoute le sikalatex comme adjuvant. Ensuite il est appliqué du flinckote (produit bitumineux) sur toutes les surfaces de l'ouvrage qui seront en contact du remblai technique.

V.1.9. Remblai technique

Après le décoffrage du tablier à 28 jours du coulage, le remblai technique peut alors commencer. Il est effectué avec de la latérite en des couches de 15 cm compactées et réceptionnées.

V.2. Les ressources

V.2.1. Ressources humaines

Un conducteur des travaux, un chef chantier, un chef d'équipe, des conducteurs d'engin, des ouvriers spécialisés, des manœuvres et des équipes de bétonnières.

V.2.2. Ressources matérielles

Pour accomplir nos activités sur le chantier, il est mobilisé des jeux de coffrage en bois, un camion grue (hiab), un camion – citerne à eau, trois bétonnières de 750 Litres, une cintruse électrique, une cisaille électrique, deux vibreurs autonomes avec des aiguilles, un compresseur pneumatique avec 02 aiguilles, de l'huile de décoffrage avec des pulvérisateurs, le petit outillage, une chargeuse, deux pelles hydrauliques, deux tractopelles, un auto – basculeur Sambron, un chariot télescopique.

V.2.3. Les matériaux

A. Le béton

Le béton est formulé avec des concassés de granulométrie 15/25, 5/15, 0/5 de la carrière de Wèwè ; du sable de rivière de Wèwè, du ciment SCB LAFARGE CEM I 42.5 MPa ; de l'eau douce du barrage de Daringa.

Les dimensions des caissons pour les granulats sont les suivants :

1. Caisson du gravier 15/25 : ht. 27,6 cm ; larg. 50 cm ; long. 50 cm pour un volume de 69.000 cm³.
2. Caisson du gravier 5/15 : ht. 17,7 cm ; larg. 50 cm ; long. 50 cm pour un volume de 44.250 cm³.
3. Caisson du sable concassé 0/5 : ht 8,3 cm ; larg 50 cm ; long 50 cm pour un volume de 20.750 cm³.

4. Caisson du sable de rivière : ht 21,3 cm ; larg 50 cm ; long 50 cm pour un volume de 53.250 cm³.

B. L'acier

Il s'agit des aciers de haute adhérence (HA) de nuance FeE400. Les cages d'armatures des bèches et des murs de tête sont façonnées sur l'aire de ferrailage à la base du chantier ainsi que les éléments de ferrailage des autres ouvrages. La pose des nappes d'armatures se fait sur le chantier.

C. Le coffrage

Tous les coffrages sont en bois et la partie coffrant en contreplaqué (ordinaire ou backéalisé).

CHAPITRE VI : DISCUSSION, ANALYSE ET RECOMMANDATIONS

VI.1. DISCUSSION ET ANALYSES

Dans notre projet, les ouvrages hydrauliques ne jouent pas forcément les mêmes rôles. Les 34 bassins versants du projet nous montrent qu'il y a au moins 34 écoulements d'eau naturels à franchir. Mais outre ces écoulements naturels qui franchissent la route, d'autres écoulements bordent longitudinalement la route. Ce qui amène à créer des ouvrages pour diverger une partie de ces eaux d'un côté aval. Alors ces ouvrages jouent des rôles d'équilibre et de décharge.

L'estimation des crues par les méthodes du CIEH et de l'ORSTOM nous montre les débits obtenus par la méthode ORSTOM sont supérieurs à ceux de la méthode du CIEH. Ce qui nous amène à choisir la méthode ORSTOM non seulement à cause de la grandeur mais pour rester dans la sécurité.

Le dimensionnement hydraulique des ouvrages nous conduit à retrouver leur section hydraulique en fonction du tirant d'eau dans l'ouvrage et du débit d'eau transitant l'ouvrage. Ceci nous permet également de connaître le remplissage de l'ouvrage ; si le tirant d'air est suffisant ou pas. Grâce à ces différents calculs, nous avons su si l'ouvrage existant est sous – dimensionné ou pas.

Le remplacement des buses est effectué après la vérification de leur section. Les dalots de section 120 X 120 étant des ouvrages préfabriqués, nous nous sommes convenus de comparer leur ferrailage. Après comparaison, nous constatons que les types d'acier sont presque identiques mais à la place des chevaliers façonnés en HA8 que nous avons mis, le projet a préféré mettre des étriers façonnés en HA6 ; ce qui convient le plus puisque ce sont des dalots préfabriqués.

En ce qui concerne les dalots de section 2 X 120 X 120, les types de ferrillages sont identiques mais nous notons une différence au niveau des sections d'aciers utilisées.

Au niveau du dalot 300 X 200, la différence se trouve presque à tous les niveaux où nous avons convenu d'utiliser les barres d'acier HA16 et HA14 dans le tablier, le radier et les piédroits comme des aciers principaux. Par contre, dans le projet, les aciers principaux du tablier sont des aciers HA14, ceux du radier sont des aciers HA16 et ceux des piédroits des aciers HA12 et HA10.

Les aciers du dalot 2 X 200 X 200 sont identiques excepté le ferrailage des pénétrations où nous remarquons la présence des aciers HA14 dans le plan d'exécution.

Sur le terrain, nous avons préféré utiliser les chevaliers dans les ferrailages du tablier et du radier en lieu et place des étriers.

VI.2. RECOMMANDATIONS

Le Bénin, pays côtier de l’Afrique de l’ouest dispose des saisons qui varient en fonction des régions. C’est ainsi qu’au sud, nous disposons de quatre saisons à savoir deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. Mais au nord, nous ne disposons que de deux saisons à savoir une saison pluvieuse et une saison sèche. La saison des pluies se concentre entre le mois d’avril et le mois d’octobre (plus de 95% des pluies) et les mois les plus pluvieux sont Juin, Juillet, Août et Septembre (plus de 55% des pluies). Cela explique que nos travaux se déroulent dans une période où nous assistons à de fortes intensités de pluie.

Nous recommandons à ce que les buses des ouvrages démolis servent dans les déviations pour éviter l’arrêt spontané de la circulation par les écoulements normaux qui les franchissent. Nous recommandons également une légère augmentation du nombre de matériels comme la tractopelle, la chargeuse ou le chariot télescopique (manitou) car des besoins instantanés du même type d’engin se font remarquer sur la construction de deux à trois ouvrages à la fois.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

A l'issue de ce mémoire sur l'analyse, la conception, le dimensionnement et la construction des ouvrages de franchissement du second lot de la route Parakou – Djougou longue de 63, 600 km, nous estimons avoir touché à travers les différents chapitres, la quasi – totalité des aspects concernant la conception, la démolition des ouvrages hydrauliques, le dimensionnement et la construction des dalots depuis la fouille jusqu'au remblai technique.

Au début de nos travaux, nous avons commencé par la collecte des données hydrologiques ou climatologiques. Ces données nous ont permis de délimiter les bassins versants et de déterminer leurs différentes caractéristiques. Pour une bonne appréciation de ces bassins, des cartes à l'échelle 1/50.000 auraient été beaucoup plus précises mais la partie nord du Bénin n'est pas dotée de ce genre de carte. A défaut de cartes à échelles plus grandes, ce sont les cartes à l'échelle 1/200.000 disponibles à l'IGN que nous avons utilisées pour délimiter les bassins versants, analyser le relief et estimer les paramètres des bassins versants. Au total, 34 bassins versants ont été délimités. Parmi ceux – ci, nous avons obtenu 26 très petits bassins versants, 07 petits bassins et 01 grand bassin. Pour notre projet, les périodes de retour sont de 10 ans pour les dalots et de 50 ans pour les ponts.

L'estimation des crues s'est faite en deux étapes. La première étape consiste d'abord à effectuer le calcul des débits de pointe pour tous les bassins versants pour une fréquence décennale puis ensuite estimer les débits de crue pour une période de 50 ans. Par les méthodes ORSTOM et du CIEH, nous avons pu déterminer les crues de fréquence 10 ans et par la méthode de l'EIER, nous avons déterminé les crues de fréquence supérieure à 10 ans.

L'étude hydraulique nous a permis primo de faire le diagnostic et l'inventaire de tous les ouvrages du lot 2 du projet. Ce travail nous permet d'inventorier 64 ouvrages hydrauliques soit en moyenne un ouvrage à chaque kilomètre constitués essentiellement de buses en béton armé, des dalots simples et multiples et 04 ponts tous généralement en bon état structurel et de fonctionnement. Tous ces ouvrages jouent soit un rôle de franchissement de cours d'eau, soit un rôle d'équilibre ou de décharge.

La vérification des sections hydrauliques et les enquêtes au prêt des riverains nous révèlent qu'il y a nécessité d'augmenter le tirant d'air des ouvrages à des niveaux bien précis du tronçon en tenant compte des plus hautes eaux.

Secundo, il paraît nécessaire de remplacer toutes les buses par des dalots pour se conformer aux normes UEMOA.

Tertio, nous avons procédé au dimensionnement hydraulique puis à la proposition de nouveaux ouvrages qui sont construits après démolition des ouvrages existants. Après avoir effectué le dimensionnement béton armé de certains ouvrages, nous avons procédé à la comparaison des types d'aciers utilisés avec les plans d'exécution du projet. Les aciers utilisés sont des HA8, des HA10, des HA12, des HA14 et des HA16.

Notre participation active à la construction de ces ouvrages de la fouille jusqu'au remblai technique vient renforcer les notions théoriques que nous avons acquises au 2iE, ce qui dans une certaine mesure nous rend apte à affronter la vie professionnelle.

Comme perspectives, nous nous focaliserons d'abord sur la suite du projet dans le domaine des ponts où leur réhabilitation engendrent un certain nombre de travaux plus ou moins complexes y compris le recalibrage du lit des cours d'eau. Ensuite, nous aimerions continuer cette étude en partant du fait que les ouvrages existants ne soient pas démolis et que les nouveaux soient construits à proximité des anciens. Enfin, si ces ouvrages n'étaient pas détruits et qu'on décide de réaliser des remblais à l'amont et à l'aval ou d'une certaine manière, de calibrer le lit du cours, quelles seraient les conséquences d'une telle opération sur le coût du projet et l'exploitation de l'ouvrage ?

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

- (1.) Dr Adamah MESSAN (2012), Hydraulique routière Partie 2 : Ouvrage d'art – conception et dimensionnement des parties d'ouvrages de franchissement routier, 2iE, Ouagadougou, Mars 2012.
- (2.) Dr Angelbert Chabi BIAOU (2012), Note de cours d'hydrologie appliquée, 2iE, Ouagadougou.
- (3.) Harouna KARAMBIRI (2010), Cours d'hydrologie, 2iE, Ouagadougou.
- (4.) Samy LEBELLE (2013), Cours de béton armé 1 & 2, 2iE, Ouagadougou, Janvier 2013.
- (5.) FAO (1996), Crues et apports : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, BULLETIN FAO D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE N° 54.
- (6.) E. Neufert (2000), les éléments des projets de construction, 8^{ième} édition.
- (7.) Hydrologie urbaine quantitative – Assainissement Eaux Pluviales – Septembre 2001, EIER, Ouagadougou
- (8.) Hydraulic chart for the selection of highway culvert du department of transportation des Etats – Unies.
- (9.) Hydraulique routière du BCEOM
- (10.) Ing OUEDRAOGO Gervais A. T. (2014), Cours de Matériaux et Matériels des travaux publics, 2iE, Ouagadougou.
- (11.) Ing TAMBOURA Issoufou (2015), Cours de pont et ouvrages d'art, 2iE, Ouagadougou.
- (12.) PFE Master 2A, Groupe 1 (2015), Travaux de construction et de bitumage du tronçon de la route départementale RD 40 entre BOUDTENGA – ZINIARE, Février 2015, 2iE, Ouagadougou.

- (13.) BCEOM (1975), Manuel d'exécution des petits ouvrages routiers en Afrique, République de France, ministère de la coopération 1975, 266p.
- (14.) AKA ANODJO Franck Christian (2009), Analyse conception et dimensionnement des ouvrages hydrauliques routiers de la route KOUDOUGOU – TOMA en vue de son bitumage, mémoire de fin d'étude pour l'obtention du master d'ingénierie en génie civil, Promotion 2008 – 2009, 2iE, Ouagadougou.
- (15.) Ministère de l'équipement et du logement, Ministère de l'économie et des finances, cahier des prescriptions communes applicables aux marchés des travaux publics relevant des services de l'équipement, Fascicule N° 61 : conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, Titre II – Programmes de charges et épreuves des ponts – routes.

ANNEXES