



RÉPUBLIQUE DU BÉNIN

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE (M.E.S.R.S)

UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI (U.A.C)  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY-CALAVI (EPAC)  
CENTRE AUTONOME DE PERFECTIONNEMENT

oooooooooooooooo

MEMOIRE DE FIN DE FORMATION POUR L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR DE CONCEPTION

Option : Bâtiments & Travaux Publics (BTP)

Thème :

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la  
Commune de Glazoue :  
Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke  
Okounou**

Réalisé et Soutenu par :

ADANDE Armel Renaud Nonvignon

Le 21 Octobre 2024

Sous la Direction de

Valéry K. DOKO :

Maître de Conférences des Universités-CAMES, Enseignant Chercheur EPAC/UAC.

MEMBRE DE JURY

---

Président : Pr OLODO Emmanuel (Professeur titulaire des universités du CAMES)

Membre : Dr DOKO K. Valéry (Maître de conférences des universités du CAMES)

Membre : Dr DATCHOSSA Abbas (Assistant à l'EPAC)

Membre : M. GANMANVO Boris (Collaborateur à EPAC)

Année académique 2023–2024

**REPUBLIQUE DU BENIN**

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
(M.E.S.R.S)

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI (UAC) ECOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY CALAVI  
(EPAC) CENTRE AUTONOME DE PERFECTIONNEMENT (CAP)

**DIRECTEUR**

Professeur ALITONOU Guy Alain (Professeur titulaire des universités du CAMES)

**DIRECTEUR ADJOINT**

(Chargé des affaires académiques)

Professeur PRODJINONTO Vincent (Professeur titulaire des universités du CAMES)

**CHEF CAP**

Professeur TCHOBO Fidèle (Professeur titulaire des universités du CAMES)

Année Académique 2023-2024

**Promotion 2020 - 2022**

## DÉDICACES

Je dédie ce travail à toutes les personnes qui ont été des piliers de soutien et d'inspiration tout au long de mon parcours académique et professionnel.

### A DIEU LE PERE TOUT-UISSANT

Sans lequel ce rapport n'aurait pu aboutir, je lui rends grâce de m'avoir accordé la santé durant toutes mes études.

- ✚ À mon père, **Paulin ADANDE**, pour son soutien inébranlable. Aucune expression ne suffirait pour vous témoigner ma reconnaissance. Que ce travail soit la concrétisation de vos efforts.
- ✚ À ma mère, **Béatrice LANGANFIN**, pour son amour et son soutien indéfectibles. Aucune expression ne serait suffisante pour témoigner toute ma reconnaissance.
- ✚ À mon épouse, **Anna Séraphine AGBESSI**, pour son amour et son soutien constants durant tout mon parcours. Que cet ouvrage soit pour toi un motif de satisfaction et de fierté.
- ✚ A mes enfants **Gracia et Tsurriel ADANDE**, que ceci vous servent de référence à dépasser.
- ✚ À Monsieur **Bernard D. AVLESSI** et à son épouse pour leur soutien précieux.
- ✚ À tous mes frères et sœurs pour leurs soutiens moraux indéfectibles.

## REMERCIEMENTS

Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements aux personnes suivantes qui ont contribué à la réalisation de ce rapport :

- Professeur **Guy Alain ALITONOU**, Directeur de l'EPAC / UAC, pour son leadership et son soutien continu.
- Professeur **Fidèle TCHOBO**, Chef du CAP, Enseignant-chercheur à l'UAC, ainsi qu'à son personnel, pour leur expertise et leurs connaissances scientifiques précieuses transmises au cours de notre formation.
- Notre Directeur de mémoire, **Monsieur Valéry K. DOKO**, Enseignant-chercheur à l'EPAC, Maître de Conférences des universités du CAMES, Chef du Département du génie civil, pour son engagement et son accompagnement tout au long de ce travail.
- **Monsieur Mohamed GIBIGAYE**, Professeur titulaire des universités du CAMES, pour ses conseils avisés et son soutien.
- **Dr Kocouvi Agapi HOUANOU**, Maître Assistant des Universités du CAMES, Enseignant-Chercheur de l'EPAC/UAC,
- **Professeur Edmond ADJOVI C**, Professeur Titulaire des Universités du CAMES ;
- **Professeur Victor GBAGUIDI**, Professeur Titulaire des Universités du CAMES ;
- **Professeur Emmanuel OLODO**, Professeur Titulaire des Universités du CAMES ;
- **Dr. Adolphe TCHEHOALI**, Maître de Conférences des Universités du CAMES ;
- **Dr. Yvette KIKI TANKPINOU**, Maître de Conférences des Universités du CAMES ;
- **Professeur Gérard GBAGUIDI AÏSSÈ**, Professeur titulaire des Universités du CAMES ;
- **Dr. Victor ANANOUH** ;
- **Dr. David Têlé OLODO** ;
- **Dr. Wilfried HODÉ** ;
- **Monsieur Hector KOUHONOU**, pour sa contribution à la rédaction de ce rapport.
- **Monsieur GANMAMVO Boris**, pour son soutien.

Je tiens à remercier tout le corps enseignant du département de Génie Civil de L'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi pour leur dévouement et la qualité de leurs enseignements.

## **Résumé**

Ce document présente notre travail sur le **dimensionnement d'un ouvrage de franchissement dans la Commune de Glazoue, avec comme cas d'étude le dalot de dimensions 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou.**

Nous avons d'abord réalisé une étude hydrologique pour évaluer les conditions hydrauliques de l'ouvrage, en prenant en compte les débits prévus. Cette étude a démontré que la section 3 x (3,00 x 3,00) était adéquate pour gérer un débit décennal estimé à 67,46m<sup>3</sup>/s.

Ensuite, nous avons procédé au dimensionnement structural du dalot en utilisant le logiciel Robot Structural Analysis 2014. Cela nous a permis de déterminer les sollicitations (efforts tranchants et moments fléchissant) et de définir les sections d'acier minimales nécessaires pour résister à ces charges.

Les résultats de notre analyse ont été utilisés pour établir le dossier d'exécution des travaux, comprenant les plans de coffrage et de ferrailage du dalot 3 x 3,00 x 3,00.

Ce travail fournit des recommandations importantes pour la conception et l'exécution d'ouvrages similaires dans la région de Glazoue, contribuant ainsi au développement du génie civil dans la région.

### **Mots Clés :**

- **Ouvrage , Franchissement, Hydraulique ,Charges, Sollicitations , Dimensionnement , Dalot**

### **Abstract**

This document presents our work on the **design of a crossing structure in the Commune of Glazoue, with the case study of the culvert measuring 3 x 3.00 x 3.00 along the Adourekoman-Oke Okounou axis.**

Firstly, we conducted a hydrological study to assess the hydraulic conditions of the structure, taking into account the expected flows. This study demonstrated that the section 3 x (3.00 x 3.00) was adequate to handle a ten-year estimated flow of 67.46m<sup>3</sup>/s.

Subsequently, we carried out the structural design of the culvert using the Robot Structural Analysis 2014 software. This allowed us to determine the solicitations (shear forces and bending moments) and to define the minimum steel sections required to withstand these loads.

The results of our analysis were used to establish the execution file, including the formwork and reinforcement plans for the 3 x 3.00 x 3.00 culvert.

This work provides important recommendations for the design and execution of similar structures in the Glazoue region, thus contributing to the development of civil engineering in the area.

**Keywords :Work , Crossing , Hydraulics , Charges, Requests , Sizing, Dalot**

**LISTE DES TABLEAUX**

- Tableau 1:** Coefficient de ruissellement déterminé pour la zone
- Tableau 2 :** Coefficient de ruissellement par type de surface
- Tableau 3 :** Limites de la formule de Caquot
- Tableau 4 :** Valeur de k selon l'importance de la crue
- Tableau 5:** Facteur d'extrapolation de débit ( $Q_x$ )
- Tableau 6 :** Coefficient de Strickler en fonction de la nature de la canalisation
- Tableau 7 :** Coefficient de Strickler pour un franchissement
- Tableau 8:** Vitesse limite au-delà de laquelle se produit l'érosion pour divers sols
- Tableau 09:** Localisation de ouvrages
- Tableau 10 :** Unités de mesure géométrique adoptées
- Tableau 11:** Tolérances sur les mesures géométriques
- Tableau 12 : Localisation de la station synoptique de SAVE
- Tableau 13.** Pluie annuelle années sèches en mm (source : **METEO BENIN**)
- Tableau 14.** Pluie annuelle années normales en mm (source : **METEO BENIN**)
- Tableau 15 :** Pluie annuelle années humides en mm (source : **METEO BENIN**)
- Tableau16 :** Pluie journalière extrême en mm (source : **METEO BENIN**)
- Tableau 17 :** Période de retour des pluies retenues
- Tableau 18 :** Classe des reliefs en fonction de la dénivelée spécifique ( $D_s$ )
- Tableau 19:** Choix des méthodes de détermination des débits
- Tableau 20:** Détermination des débits par la méthode ORSTOM
- Tableau 21:** Détermination des débits par la méthode CIEH
- Tableau 22 :** débit projet retenue
- Tableau 23 :** Récapitulatif de dimensionnement hydraulique

## **LISTE DES FIGURES**

**Figure 1:** Exemple d'un bassin versant, avec les limites des partages des eaux de surface.

**Figure 2.** Courbe des hauteurs des pluies cumulées.

**Figure 3.** Exemple d'un hyétogramme d'une averse.

**Figure 4.** Les courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence)

**Figure 5 :** Forme de canaux et leur formule de calcul de débit capable

**Figure 6 :** Variation du débit en fonction de la hauteur hydraulique

**Figure 7 :** Conception d'une buse.

**Figure 8 :** diagramme de l'étude pluviométrique

**Figure 9:** Etapes successives d'étude de rétablissement de cours d'eau

**Figure 10 :** Carte des bassins versants

## **LISTE DES PHOTOS**

**Photo 1** : Différents types de dalots.

**Photo 2** : Différents model des buses.

**Photo 3** : Radier semi-submersible

**Photo 4** : Ouvrage de franchissement : le pont.

**Photo 5** : Carte Topographique de la commune de GLAZOUE.

**Photo 5** : Etat des lieux de la zone du projet.

**Photo 6** Levé Topographique pour l'ensemble des sites du projet

## **LISTES DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES**

- CAP** : Centre Autonome de Perfectionnement
- EPAC** : Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi
- BAEL** : Béton Armé aux États Limites
- ASECNA**: Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
- Ing**: Ingénieur
- Dr**: Docteur
- ml**: Mètre linéaire
- Kg**: Kilogramme
- Km<sup>2</sup>**: Kilomètre carré
- OA**: Ouvrage Assainissement
- m**: Mètre
- km**: Kilomètre
- mm**: Millimètre
- BV**: Bassin Versant
- Ep**: Epaisseur
- CIEH** : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
- ELS**: État Limite de Service
- ELU**: État limite Ultime
- HA** : Haute Adhérence
- Km** : Kilomètre
- Kr** : coefficient de ruissellement
- MPa**: Méga pascal
- MESRS**: Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
- ORSTOM**: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer
- PHE**: Plus Hautes Eaux
- PK**: Point Kilométrique
- Pan**: Précipitation annuelle ponctuelle
- P10**: Précipitation journalière décennale ponctuelle

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1 : Etude hydrologique et Hydraulique

Annexe 2 : Pièces Graphiques

*Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :*  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

---

**SOMMAIRE**

<b>RESUME .....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES PHOTOS .....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTES DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJECTIF GENERAL.....</b>	<b>2</b>
<b>OBJECTIFS SPECIFIQUES.....</b>	<b>2</b>
<b>DEMARCHE METHODOLOGIQUE.....</b>	<b>3</b>
<b>CHAPITRE I : GENERALITES ET REVUE DE LITTERATURE.....</b>	<b>4</b>
<b>I- GENERALITES SUR L'ASSAINISSEMENT ET LE DRAINAGE ROUTIER.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 FONDAMENTAUX EN HYDROLOGIE.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.1 PLUVIOMETRIE - ECOULEMENTS.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.2 CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.3 CRUE DE PROJET .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.3.1 L'HYDROLOGIE STATISTIQUE .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.3.2 L'HYDROLOGIE ANALYTIQUE .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.3.3 L'HYDROLOGIE DETERMINISTE .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.3.4 FACTEUR (F) DE PASSAGE A UN AUTRE DEBIT .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 FONDAMENTAUX EN HYDRAULIQUE .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.1 DEBIT HYDRAULIQUE – SECTION HYDRAULIQUEMENT FAVORABLE .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2 DEBIT CAPABLE – PENTE CRITIQUE – PROFONDEURS .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2.2.2 PENTE CRITIQUE ET SON IMPORTANCE DANS LE DIMENSIONNEMENT.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.2.3 TIRANT D'AIR .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.2.4 VITESSE DE L'ECOULEMENT .....</b>	<b>23</b>
<b>1.2.2.5.2- OUVRAGES DE RETABLISSEMENT OU DE FRANCHISSEMENT DES ECOULEMENTS .....</b>	<b>24</b>
<b>II- REVUE DE LITTERATURE.....</b>	<b>30</b>

*Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :*  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

---

<b>III- PRESENTATION DU PROJET .....</b>	<b>31</b>
3.1- CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE .....	31
3.2- SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	31
3.3- DESCRIPTION DE L'AXE ADOUREKOMAN - OKE OKOUNOU.....	32
<b>3.3 - LOCALISATION DU PROJET .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.1 CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.2- DESCRIPTION DE LA ROUTE CONCERNEE .....</b>	<b>34</b>
<b>CHAPITRE II : MATERIEL, MATERIAUX ET METHODOLOGIE .....</b>	<b>36</b>
<b>I- MATERIELS – METHODES .....</b>	<b>37</b>
1.1- MATERIEL ET LEVE TOPOGRAPHIQUE.....	37
<b>1.2- MATERIEL TOPOGRAPHIQUE – UNITES ET TOLERANCES – RESEAU GEODESIQUE .....</b>	<b>38</b>
1.2-1- UNITES ET TOLERANCES .....	38
<b>1.6- LEVE DE LA POLYGONALE DE BASE ET LEVE DE DETAIL / TERRAIN.....</b>	<b>42</b>
1.6.1- IMPLANTATION ET OBSERVATIONS DES POINTS POLYGONAUX .....	42
1.6.2- LEVE DU DETAIL ET DU TERRAIN NATUREL.....	42
1.6.3- TRAITEMENT DES DONNEES.....	43
<b>II- METHODES .....</b>	<b>43</b>
<b>2.1- DEMARCHE DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE ET DU DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL. ..</b>	<b>43</b>
<b>2.1.1- DEMARCHE DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE.....</b>	<b>43</b>
2.1.1.3.1- LA METHODE RATIONNELLE .....	45
2.1.1.3.2- LA METHODE OSTROM ; .....	46
2.1.1.3.2.1-CONDITIONS D'UTILISATION DE LA METHODE ORSTOM : .....	46
2.1.1.3.2.2-METHODOLOGIE DE CALCUL DU DEBIT AVEC LA METHODE ORSTOM : .....	47
2.1.1.3.2- METHODE CIEH .....	49
2.1.1.3.2.1- CONDITIONS D'UTILISATION DE LA METHODE CIEH : .....	49
2.1.1.3.2.2- METHODOLOGIE DE LA METHODE CIEH : .....	50
2.1.1.3.4- METHODE CAQUOT .....	51
<b>2.1.2- DEMARCHE DE L'ETUDE HYDRAULIQUE .....</b>	<b>52</b>
2.1.2 DEMARCHE DE L'ETUDE HYDRAULIQUE.....	54
<b>2.1.2.1- DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE DES OUVRAGES LONGITUDINAUX.....</b>	<b>57</b>
<b>2.1.3- DEMARCHE DE DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT.....</b>	<b>59</b>
1.1.3.1- DIMENSIONNEMENT DU DALOT .....	59
<b>SCHEMA DE PRE-DIMENSIONNEMENT ET MODELISATION.....</b>	<b>60</b>
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>62</b>
<b>3.1- RESULTAT ET DISCUSSION.....</b>	<b>63</b>
<b>3.1.1- DIMENSIONNEMENT HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE ET STRUCTURALE DU DALOT .....</b>	<b>63</b>
<b>3.1.1.1- DIMENSIONNEMENT HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE .....</b>	<b>63</b>

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

---

3.1.1.1.1- PLUVIOMETRIE : .....	63
3.1.1.1.2- CARACTERISTIQUE PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS : .....	65
3.1.1.1.3 - DONNEES TOPOGRAPHIQUE : .....	66
<b>3.2- ESTIMATION DES DEBITS DE PROJET : .....</b>	<b>67</b>
3.2.1- DEBIT PROJET PAR LA METHODE ORSTOM.....	68
<b>3.2.2- DEBIT PROJET PAR LA METHODE CIEH.....</b>	<b>69</b>
3.2.3- DEBITS PROJET RETENUE : .....	69
<b>3.3- RESULTAT DE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE DE L'OUVRAGE : .....</b>	<b>69</b>
<b>3.4- DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DU DALOT 3x3,00x3,00 .....</b>	<b>71</b>
3.4.1- DESCRIPTION GENERAL DE L'OUVRAGE .....	71
3.4.2- CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DU SOL PORTEUR ET DES REMBLAIS .....	72
3.4.3- HYPOTHESES DE CALCUL .....	72
3.4.3.1- CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX .....	73
3.4.4- DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE.....	74
3.4.4.1- GEOMETRIE DE L'OUVRAGE.....	74
3.4.4.2- MODELE DE CALCUL .....	74
3.4.4.3- CHARGES APPLIQUEES .....	74
3.4.4.3.1- CHARGES PERMANENTES .....	75
3.4.4.3.2- SURCHARGES ROUTIERES .....	75
<b>RECAPITULATIF SURCHARGES ROUTIERES ET CALCUL DU COEFFICIENT DE MAJORATION DYNAMIQUE .....</b>	<b>79</b>
<b>3.4.4.4 - COMBINAISON DES CHARGES POSSIBLES .....</b>	<b>80</b>
3.4.4.5- MODELISATION DE L'OUVRAGES .....	81
3.4.4.6- RESULTAT DU CALCUL DES SOLLICITATIONS – DEPLACEMENTS .....	84
3.4.4.6.1-ENVELOPPE MOMENTS FLECHISSANT A L'ELU (MU).....	84
3.4.4.6.2-ENVELOPPE MOMENTS FLECHISSANT A L'ELS (MSER).....	85
3.4.4.6.3-ENVELOPPE EFFORTS TRANCHANTS A L'ELU .....	85
3.4.4.6.3-ENVELOPPE EFFORTS TRANCHANTS A L'ELS.....	85
3.4.4.6.4-ENVELOPPE MOMENTS FLECHISSANT A L'ELU AU NIVEAU DU MUR EN AILES (MU ).....	86
3.4.4.6.5-ENVELOPPE MOMENTS FLECHISSANT A L'ELS AU NIVEAU DU MUR EN AILES (MSER ).....	86
3.4.4.6.6-ENVELOPPE CONTRAINTES TANGENTIELLES A L'ELU (TZU) .....	86
3.4.4.6.7-ENVELOPPE CONTRAINTES NORMALES A L'ELS (SB).....	87
3.4.4.6.8-ENVELOPPE EFFORT NORMAL A L'ELU (FXU).....	87
3.4.4.6.9-DEPLACEMENT EXTREME AUX NŒUDS .....	87
3.4.4.6.10-CONTRAINTE DE REFERENCE EXERCEE PAR LA SEMELLE SUR LE SOL DE FONDATION .....	88
3.4.4.7-DETERMINATION DU FERRAILLAGE.....	88

## INTRODUCTION GENERALE

Le développement d'une nation passe inexorablement par la construction et l'amélioration des infrastructures. À cet effet, la réalisation de tout ouvrage de génie civil doit faire l'objet de minutieuses études. Les infrastructures doivent être bien réalisées, suivant une application méthodique des prescriptions et des différentes règles de dimensionnement et d'exécution des ouvrages d'art, afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage et le confort des usagers.

Cette réalité engendre incontestablement une demande croissante de cadres bien formés et rompus à la tâche (ingénieurs, architectes et techniciens), capables de résoudre tous les problèmes de conception et de réalisation des bâtiments et des travaux publics dans tous les pays du monde, notamment ceux en voie de développement. La beauté et l'évolution d'un milieu dépendent des diverses constructions, aussi bien habitables que routières, qui s'y trouvent. En effet, un réseau routier opérationnel permet, entre autres, de promouvoir les échanges entre les provinces du pays et avec l'extérieur, de désenclaver les régions possédant des potentialités importantes en matière de productions agropastorales, de richesses touristiques ou minières, contribuant ainsi à la lutte contre la pauvreté. Il permet également de faciliter les évacuations sanitaires des villages vers les centres urbains. Conscient de cet enjeu, le Bénin, avec le soutien de ses partenaires, met l'accent sur la réhabilitation des ouvrages dégradés et les constructions neuves depuis plusieurs décennies.

L'aménagement d'une route nécessite la construction d'ouvrages en ce sens qu'elle permet, d'une part, l'assainissement de la route, mais aussi le franchissement des zones de passage d'eau en saison pluvieuse.

### **Contexte et Problématique**

Dans l'élan d'une contribution substantielle à la lutte contre les inondations et à l'amélioration du cadre de vie des populations, la commune de Glazoué a prévu, au titre de son budget 2023, des lignes de crédits destinées à la réalisation d'un certain nombre de travaux de construction d'ouvrages de franchissement sur les pistes **Houala-Camp Peulh Kpota ; Adourekoman-Oke Okounou ; Kpakpazoume-Ibyyem-Akouegba.**

La praticabilité des routes 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 l'état de nos voies. 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. Le bon fonctionnement de la route est assujéti à leur bonne exécution et surtout à une étude préalable de qualité. D'autre part, l'eau est l'un des principaux facteurs de dégradation des voies. Ces dégradations sont majeures lors du franchissement par la route des cours d'eau et de l'écoulement des eaux de pluie. Pour y remédier, la solution la plus adaptée est la mise en place des ouvrages de franchissement tels que dalots, buses, radiers submersibles, ponts, etc.

Dans le but de satisfaire au mieux la population, il s'avère important de réaliser un ouvrage de franchissement sur l'axe **Adourekoman-Oke Okounou** afin de mieux exploiter cette piste.

### **Objectif général**

Le présent projet d'étude a pour objectif de procéder à une étude hydrologique, hydraulique et au dimensionnement du dalot sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou dans la commune de Glazoué.

### **Objectifs spécifiques**

Le projet vise à accomplir plusieurs objectifs spécifiques essentiels pour garantir la conception et la réalisation efficace de l'ouvrage de franchissement sur l'axe Adourekoma-Oke Okounou. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- **Mener une étude hydrologique approfondie de la zone concernée** : Cette étude permettra de comprendre les caractéristiques des régimes de précipitation et d'écoulement des eaux dans la région, afin de concevoir un ouvrage capable de gérer efficacement les volumes d'eau.
- **Établir une note de calcul hydraulique détaillée** : Cette note de calcul fournira les dimensions et les spécifications techniques nécessaires pour garantir que l'ouvrage puisse supporter les débits d'eau prévus, assurant ainsi la durabilité et la fiabilité de la structure.
- **Réaliser le dimensionnement structural de l'ouvrage** : En tenant compte des charges et des conditions environnementales spécifiques, le dimensionnement structural garantira la stabilité et la sécurité de l'ouvrage. Cela inclut le calcul des forces et des tensions auxquelles la structure sera soumise.
- **Élaborer des plans d'exécution précis** : Ces plans incluront tous les détails nécessaires pour la construction de l'ouvrage, y compris les matériaux à utiliser, les méthodes de construction, et les spécifications techniques. Ils serviront de guide complet pour les ingénieurs et les techniciens sur le terrain.

En accomplissant ces objectifs, le projet vise à assurer une conception optimale de l'ouvrage de franchissement, répondant aux besoins de la population locale tout en garantissant la durabilité et la fonctionnalité de l'infrastructure.

### **Démarche méthodologique**

Le présent document propose une démarche basée sur l'ingénierie routière, articulée autour de la collecte de données, des relevés sur le terrain, et des traitements de données au bureau. Il est structuré en trois chapitres. Le chapitre 1 aborde les généralités sur l'assainissement et le drainage routier ainsi que la revue de littérature. Le chapitre 2 traite du matériel, des matériaux et des méthodes. Le chapitre 3 présente les résultats et discussions.

Au regard de l'importance et du rôle des ouvrages pour un réseau routier sain, nous avons choisi de nous intéresser à ce domaine dans le cadre de notre mémoire de fin de cycle. Le présent mémoire, dont le thème est « **Dimensionnement d'un ouvrage de franchissement dans la commune de Glazoué : Cas du dalot 3x3,00x3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou** », devra permettre à terme de faire le dimensionnement hydrologique, hydraulique et structural puis de proposer les plans d'exécution de l'ouvrage.

En suivant cette méthodologie, le projet vise à garantir une conception optimale et une réalisation efficace de l'ouvrage de franchissement sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou, répondant aux besoins des usagers tout en assurant la durabilité et la fonctionnalité de l'infrastructure.

**CHAPITRE I : Généralités et Revue de littérature**

## **I- Généralités sur l'assainissement et le drainage routier**

Cette partie traite l'assainissement de la route, du rétablissement des écoulements qu'elle traverse et du drainage du corps de chaussée.

### **1.1 Fondamentaux en hydrologie**

#### **1.1.1 Pluviométrie - écoulements**

La pluviométrie est l'évaluation quantitative des précipitations, de leur nature et distribution. Plusieurs instruments sont utilisés à cette fin, dont le pluviomètre et le pluviographe sont les plus courants. Les données météorologiques sont recueillies auprès des stations les plus proches du site. Elles permettent de calculer l'épaisseur de la lame d'eau, pluie journalière maximale, pluviométrie moyenne annuelle exprimée en mm.

Il résulte des recherches effectuées par l'ORSTOM qu'il existe dans les pays de l'Afrique, une corrélation assez étroite entre la pluviométrie moyenne annuelle et la pluviométrie journalière décennale ; valeur nécessaire dans la détermination des crues.

Les écoulements d'eau proviennent des précipitations atmosphériques, des affleurements et des résurgences d'eaux souterraines. L'écoulement principal est le long du talweg. Le niveau atteint par les eaux est une fonction des saisons. On distingue :

- Les plus hautes eaux exceptionnelles (PHEE) ;
- Les plus hautes eaux habituelles (PHEH) ;
- Les plus hautes eaux navigables (PHEN) afin de déterminer le tirant d'air à réserver aux bateaux.

#### **1.1.2 Caractéristiques des bassins versants**

- Notion d'un bassin versant

Le bassin versant (BV) en une section droite d'un cours d'eau, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite.

La ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique.

Un bassin versant est caractérisé par : une surface, un périmètre, une forme, un relief, des altitudes maximale et minimale, une altitude moyenne et médiane, une pente moyenne, un réseau

hydrographique, ...

Un bassin versant est caractérisé par ses données statiques à savoir :

- La superficie (A) exprimée en m<sup>2</sup>, ha ou km<sup>2</sup>;
- Le périmètre (P) exprimé en m ou km ;
- L'indice de compacité (K<sub>G</sub>) ou de Gravelus ; il vaut :

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

– K<sub>G</sub> > 1, le bassin versant a une forme allongée et est caractérisé par un réseau hydrographique radial ;

- Le rectangle équivalent, permet de comparer les bassins versants entre eux, surtout l'influence des dimensions sur l'écoulement.

Ainsi pour K<sub>G</sub> 2 1,128 ; on calcule la longueur et la largeur associées comme suit

$$\text{Longueur} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.128} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_G}\right)^2} \right]$$

$$\text{Largeur} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.128} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_G}\right)^2} \right]$$

avec : A, superficie exprimée en km<sup>2</sup>, L  
et l exprimées en km ;

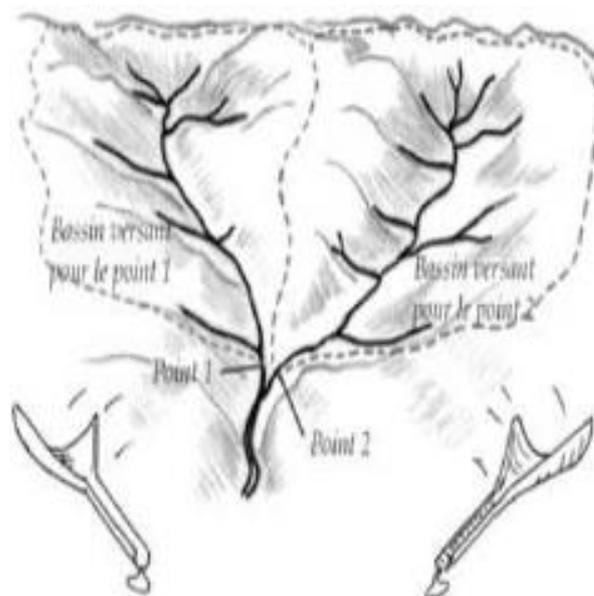
- La pente moyenne (J) du talweg exprimé en m/m, détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin versant. Elle est liée au temps de concentration et donc a une influence non négligeable sur le débit de pointe. Elle vaut :

$$J = \frac{\Delta H_{Max}}{L_C}$$

avec : ΔH<sub>max</sub>, différence d'altitude entre le point le plus éloigné (émissaire) et l'exutoire, exprimée en m,

L<sub>c</sub>, longueur du cours d'eau, exprimée en m

La figure suivante illustre un bassin versant.



**Figure 1: Exemple d'un bassin versant, avec les limites des partages des eaux de surface.**

Source : Internet

- **Notion sur les précipitations**

Les précipitations désignent toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, sous forme liquide (bruine, pluie, averse) ou solide (grésil, grêle, neige). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression.

Quelle que soit la forme de la précipitation, liquide ou solide, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps. On l'exprime généralement en hauteur de précipitation ou lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm). On définit aussi son intensité (mm/h) comme la hauteur d'eau précipitée par unité de temps. Les différents instruments permettant la mesure des précipitations sont :

- **Le pluviomètre** : Instrument de base pour mesurer les précipitations liquides ou solides. Il indique la quantité totale d'eau précipitée et recueillie à l'intérieur d'une surface calibrée dans un intervalle de temps séparant deux relevés.
- **Le pluviographe** : Instrument captant la précipitation de la même manière que le pluviomètre mais avec un dispositif permettant de connaître, outre la hauteur d'eau totale, leur répartition dans le temps, autrement dit les intensités.
-

- **Notion d'une averse et d'une intensité**

Une averse désigne un ensemble de pluies associé à une perturbation météorologique bien définie. La durée d'une averse peut varier de quelques minutes à plusieurs heures et intéresser une superficie allant de quelques kilomètres carrés (orages) à plusieurs milliers de kilomètres carrés (pluies cycloniques). On définit une averse comme un épisode pluvieux continu, pouvant avoir plusieurs pointes d'intensité.

L'intensité moyenne d'une averse s'exprime par le rapport entre la quantité d'eau tombée ( $\Delta h$ ) durant une unité de temps ( $\Delta t$ ) de l'averse :

L'intensité moyenne d'une averse s'exprime par le rapport entre la quantité d'eau tombée ( $\Delta h$ ) durant une unité de temps ( $\Delta t$ ) de l'averse :

$$\text{Intensité moyenne}(i_m) = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

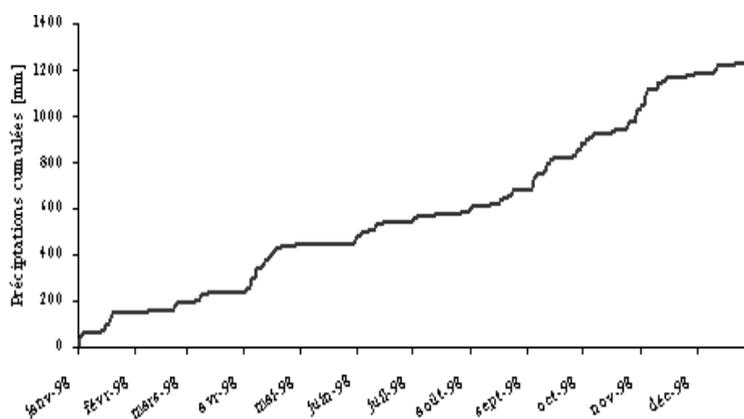
Où :

- $i_m$  : Intensité moyenne de la pluie [mm/h, mm/min] ou ramenée à la surface [l/s.ha]
- $\Delta h$  : Hauteur de pluie de l'averse observée [mm]
- $\Delta t$  : Durée de l'averse [h ou min]

L'intensité des précipitations varie à chaque instant au cours d'une même averse suivant les caractéristiques météorologiques de celle-ci. Plutôt que de considérer l'averse entière et son intensité moyenne, on peut s'intéresser aux intensités observées sur des intervalles de temps au cours desquels on aura enregistré la plus grande hauteur de pluie. On parle alors d'intensité maximale.

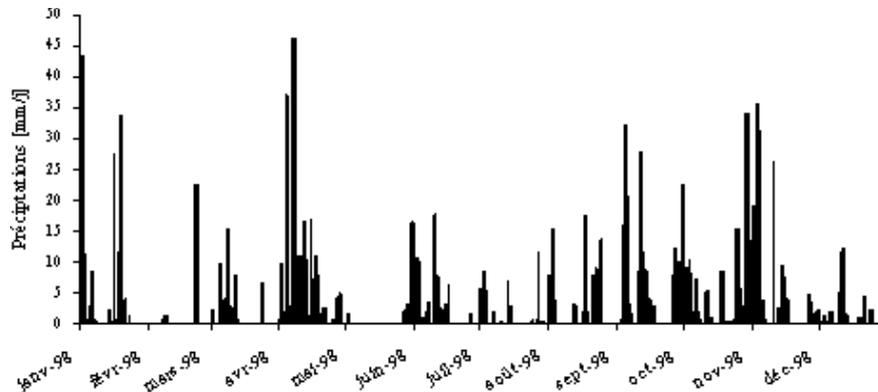
Deux types de courbes déduites des enregistrements d'un pluviographe permettent d'analyser les averses d'une station : la courbe des hauteurs de pluie cumulée et le hyétogramme.

- **Courbe des hauteurs de pluie cumulées** : Elle représente, en ordonnée, pour chaque instant  $t$ , l'intégrale de la hauteur de pluie tombée depuis le début de l'averse.



**Figure 2.** Courbe des hauteurs des pluies cumulées.

- **Hyétoqramme** : Représentation sous la forme d'un histogramme, de l'intensité de la pluie en fonction du temps. Les éléments importants d'un hyétoqramme sont le pas de temps ( $\Delta t$  (Delta t  $\Delta t$ )) et sa forme. Généralement, on choisit le plus petit pas de temps possible selon la capacité des instruments de mesure. La forme du hyétoqramme varie d'une averse à une autre.



**Figure 3.** Exemple d'un hyétoqramme d'une averse.

L'étude statistique d'une série chronologique des précipitations a pour but principal d'utiliser des mesures d'événements passés afin d'estimer les probabilités futures d'occurrence (faire une prévision pour le futur au moyen d'une analyse fréquentielle). L'analyse fréquentielle est utilisée, en particulier, pour estimer l'ampleur de l'événement temporel auquel est associée une période de retour T (quantile de période de retour T ou de probabilité au dépassement  $p = 1/T$ ).

L'estimation de la valeur du quantile s'obtient en ajustant une loi de probabilité  $F(x; \theta)$  à un échantillon de n observations  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , où  $\theta$  représente le vecteur de paramètres associé à la distribution de probabilité F.

Les lois statistiques fréquemment utilisées en analyse fréquentielle sont : loi normale, loi log-normale, loi de Gumbel, loi GEV, loi Pearson.

#### - Période de retour – Fréquence – Facteur d'extrapolation

La période de retour ou temps de retour (T) est la durée moyenne au cours de laquelle, statistiquement une pluie d'une même intensité se reproduit.

La fréquence (F) est liée à la période de retour par la relation :

$$F = \frac{1}{T}$$

Ainsi :

- T= 1 ou 2 ans pour dimensionner les caniveaux et fossés ;
  - T= 10 ou 20 ans, pour les petits ouvrages (Buses ou Dalots) ;
  - T= 50 ou 100 ans pour les ponts (centennale pour les ponts importants) ;
  - T= 100 ou 500 ans ou même 1000 ans, pour les barrages.
- **Courbes IDF (intensité-durée-fréquence)**

Les courbes IDF sont construites pour un but bien précis. Elles permettent d'une part de synthétiser l'information pluviométrique au droit d'une station donnée et, d'autre part de calculer rapidement des débits de projet et d'estimer des débits de crue ainsi que de déterminer des pluies de projet utilisées en modélisation hydrologique.

Les courbes IDF sont établies sur la base de l'analyse d'averses enregistrées à une station au cours d'une longue période. Les courbes obtenues peuvent donc être construites de manière analytique ou statistique.

Différentes formules analytiques sont proposées pour représenter l'intensité moyenne d'une pluie en fonction de sa durée. La formule la plus simple (avec T variable) est proposée par **Montana** sous la forme suivante :

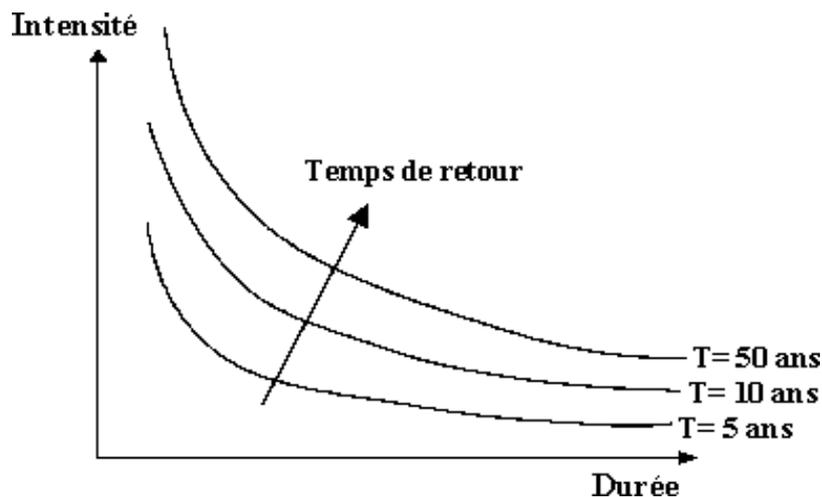
$$i = \frac{a}{(t+b)^n}$$

Avec :

i: intensité moyenne de la pluie [mm/h],

t: durée de la pluie, généralement prise égale au temps de concentration [minutes ou heures], T; intervalle de récurrence (ou temps de retour) [années],

a, b: constantes locales, dépendant généralement du lieu et de la fréquence de pluie (déterminé statistiquement ou en fonction de l'exposant climatique de la région).



**Figure 4.** Les courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence)

### 1.1.3 Crue de projet

Le débit maximum de la crue qui passe dans un écoulement est le débit hydrologique. Elle sert à dimensionner les ouvrages hydrauliques.

L'hydrologie présente les principales méthodes pour calculer les débits en un point donné.

#### 1.1.3.1 L'hydrologie statistique

Elle permet de déterminer les caractéristiques d'une crue de fréquence donnée par les méthodes statistiques, si l'on dispose de données hydrométriques s'étendant sur une période suffisamment longue, une vingtaine d'années d'affilée au minimum. Les méthodes statistiques principales sont :

- loi de GIBRAT GALTON ;
- loi de GOODRICH ;
- loi de PEARSON III ;
- loi de GUMBEL ;
- loi de FRECHET.

#### 1.1.3.2 L'hydrologie analytique

Elle permet de calculer les caractéristiques d'une crue à partir des caractéristiques d'une averse et du bassin versant, en recherchant la suite des opérations permettant le passage de la pluie à la crue. Ainsi, de la pluie tombée, une partie disparaît absorbée par le sol ou perdue par évapotranspiration. Le restant s'écoule. La méthode de l'hydrogramme unitaire de L. K.

SHERMAN est la principale utilisée.

### **1.1.3.3 L'hydrologie déterministe**

Elle présente les méthodes mises au point par divers auteurs pour estimer, pour une zone donnée, une crue à partir de paramètres régissant le ruissellement à savoir : climat, topographie, géologie, pédologie, morphologie, couverture végétale, occupation des sols. Les méthodes plus ou moins complexes suivantes sont utilisées :

#### **1.1.3.3.1- La méthode rationnelle**

Originnaire des Etats-Unis, elle est applicable à des petits bassins versants dont la superficie (A) ne dépasse pas 400 ha. On retient que pour une averse homogène dans le temps et dans l'espace, d'intensité (i) exprimée en mm/h, extrapolée des courbes intensités-durées publiées par l'ORSTOM, le débit maximal décennal (Q) exprimé en m<sup>3</sup>/s est atteint si la durée de l'averse décennale est au moins égale au temps de concentration (T<sub>c</sub>) du bassin. Le temps de concentration, le temps nécessaire à l'eau pour atteindre l'exutoire depuis le point hydrauliquement le plus éloigné (émissaire) est calculé par la formule empirique de KIRPICH ou la formule de RICHARDS.

La formule générale de calcul du débit de crue décennale s'écrit ;

$$Q = \frac{1}{360} C \cdot i \cdot A$$

Cette formule donne des résultats très sécuritaires pour les petits bassins urbains avec un taux élevé d'imperméabilisation et une concentration rapide des écoulements. Son principal avantage est la simplicité et la possibilité de contrôler facilement l'effet des différentes variables de la formule.

En l'absence de cartographie adéquate (photos aériennes) le coefficient de ruissellement peut être mal estimé.

Le coefficient de ruissellement diminue lorsque la superficie du bassin versant augmente.

D'autre part, il varie dans le même sens que la pente du bassin.

#### **1.1.3.3.2- La méthode superficielle de CAQUOT – débit des bassins versants urbanisés Variante française de la méthode rationnelle,**

#### **La Méthode Superficielle de Caquot – Débit des Bassins Versants Urbanisés**

La méthode superficielle de Caquot est une variante française de la méthode rationnelle, utilisée pour estimer le débit maximal décennal des petits bassins versants urbanisés, généralement inférieurs à 400 hectares. Cette méthode est particulièrement adaptée aux bassins de taille moyenne à grande avec une forte couverture végétale, où l'effet d'écrêtement est significatif.

- **Principe de la Méthode**

La méthode est basée sur l'estimation du temps de concentration ( $T_c$ ), qui est le temps nécessaire pour que l'eau de pluie la plus éloignée atteigne l'exutoire du bassin versant. Le calcul du débit maximal ( $Q$ ) est lié à l'intensité de l'averse ( $i$ ) qui provoque la crue, cette intensité étant fonction de la durée de l'averse égale au temps de concentration.

- **Formule de Caquot**

La formule de Caquot pour le débit maximal décennal est :

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

Où :

- $Q$  est le débit maximal en  $m^3/s$
- $C$  est le coefficient de ruissellement
- $I$  est l'intensité de l'averse en  $mm/h$
- $A$  est la superficie du bassin versant en hectares

- **Estimation du Temps de Concentration ( $T_c$ )**

Le temps de concentration est estimé à partir de la formule de Montana, qui utilise les coefficients  $a$  et  $b$  spécifiques au bassin versant étudié. Les valeurs  $a$  et  $b$  sont déterminées en fonction des caractéristiques locales de précipitation.

- **Coefficients Additionnels**

La méthode de Caquot nécessite également l'estimation de certains coefficients additionnels :

- **Coefficient d'abattement spatial de la pluie** : Tient compte de la variabilité spatiale de la précipitation sur le bassin.

- **Coefficient d'écrêtement du bassin** : Reflète la capacité du bassin à réduire les débits de pointe grâce à ses caractéristiques physiques (couverture végétale, topographie, etc.).

- **Coefficients de Ruissellement**

Les coefficients de ruissellement (C) varient en fonction du type de surface et de la pente. Le tableau suivant présente quelques valeurs typiques :

<b>Type de Surface</b>	<b>Valeur de C</b>
<b>Rues et trottoirs bitumés</b>	
Pente de 0 à 3 %	0,85
Pente de 3 à 6 %	0,9
Pente supérieure à 6 %	0,95
<b>Rues et chemins en latérite compactée</b>	
Pente de 0 à 5 %	0,35
Pente supérieure à 5 %	0,5
<b>Chemins de sable, allées en gravier</b>	0,2
<b>Terrains vagues, sous-sol sableux</b>	
Pente très faible et faible	0,05
Pente moyenne et forte, sous-sol argilo-sableux	0,2
<b>Jardins, surfaces plantées ou boisées</b>	0,1
<b>Toitures métalliques, amiante-ciment</b>	
Pente faible	0,75
Pente forte	0,9
<b>Cours d'immeubles</b>	
Imperméabilisées	0,6
Non imperméabilisées	0,4
<b>Terrains de jeux, voies ferrées</b>	0,2

**Source** : Manuel hydraulique routière, N. VAN TUU, Bceom, 1981, page 150

**- Application de la Méthode**

Pour appliquer la méthode de Caquot, il est nécessaire de disposer de données météorologiques fiables, de connaître les caractéristiques du bassin versant (surface, pente, couverture végétale, etc.), et de pouvoir estimer les coefficients de ruissellement appropriés pour les différentes surfaces du bassin. L'absence de mesures hydrométriques de calibrage peut rendre certaines variables difficiles à estimer, ce qui constitue une limite de la méthode.

D'autres auteurs ont proposé des valeurs d'imperméabilisation en fonction du type de surface.

**Tableau 2 :** Coefficient de ruissellement par type de surface

Type de surface	Valeur du coefficient C
Zone de centre ville	0,70 - 0,95
Zone résidentielle, pavillons isolés	0,30 - 0,50
Zone résidentielle, pavillons groupés	0,60 - 0,75
Zone industrielle	0,50 - 0,90
Cimetières – parcs	0,10 - 0,25
Rue	0,80 - 0,85
Trottoirs	0,75 - 0,90
Pelouse (sols sableux, faible pente)	0,05 - 0,10
Pelouse (sols terreux, faible pente)	0,15 - 0,20

**Source :** Voirie et réseaux divers, Livre 2-HF201L2, ECS, 2008, page 54

Dans le domaine actuel de vérification de l'ajustement du modèle de CAQUOT, les formules d'expression du débit, quelle que soit la période de retour d'insuffisance choisie, sont valables dans les conditions résumées dans le tableau suivant ;

**Tableau 3 :** Limites de la formule de Caquot

Variable s	Valeur s
Superficie	moins de 200 ha
Imperméabilisation	supérieure à 0,2
Pente	0,2 % < J < 5 %

**Source :** Voirie et réseaux divers, Livre 2-HF201L2, ECS, 2008, page 68

Cette méthode propose une démarche corrective du bassin versant.

- Allongement du bassin versant

L'allongement (M) d'un bassin est le rapport entre le plus long talweg (Lc) et la racine de sa superficie

$$M = \frac{L_c}{\sqrt{A}} \geq 0.8$$

avec : Lc, longueur du plus long talweg en km,

A, superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

- Le débit de crue brute pour une période de retour donnée et pour l'allongement M = 2 est donné par la formule suivante :

$$Q_{(T),M=2} = \left[ \frac{a(T) \cdot 0,34^{b(T)}}{8,4} \right]^{\frac{1}{1+0,287b(T)}} \cdot \left[ \frac{1}{C^{1+0,287b(T)}} \right]^{\frac{-0,41b(T)}{1+0,287b(T)}} \cdot A^{\frac{0,507b(T)+0,95}{1+0,287b(T)}}$$

avec : a et b, coefficient de Montana en fonction de la période de retour (T) et du temps de concentration (Tc) exprimé en mn,

C, coefficient de ruissellement ( $\geq 0,2$ ),

Lc, longueur en hm du talweg ( $Lc^2 \geq 0,637 \cdot A$ )

A, superficie du bassin versant en ha.

J, pente moyenne du talweg en m/m, A,

superficie du bassin versant en ha,

Q(T), le débit de pointe brute est exprimé en m<sup>3</sup>/s.

- Coefficient correcteur – débit corrigé

✓ Le coefficient correcteur (m) intègre la notion de variation du temps de ruissellement en fonction des variations d'allongement du bassin.

$$m = \left( \frac{M}{2} \right)^{0.7b}$$

✓ Le débit de pointe corrigé pour une période de retour choisie vaut :

$$Q(T),\text{corrigé} = m \cdot Q(T),M=2$$

- La méthode ORSTOM ou RODIER-AUVRAY.

Elle estime les débits des crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique occidentale. Le « 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 » définit les deux méthodes actualisées de l'ORSTOM et du CIEH.

Ces méthodes actualisées et révisées, publiées en 1996, s'appliquent aux bassins versants situés entre les isohyètes annuelles 150-200 et 1 200 mm, ayant des superficies comprises entre 0,2 ou 1-2 km<sup>2</sup> à 1 500 ou 2 000 km<sup>2</sup>.

À ce titre, elles pourront convenir pour les bassins versants de superficie supérieure à 4 km<sup>2</sup>. La check-list préconise :

- l'utilisation de la méthode ORSTOM pour les bassins versants de superficie inférieure à 15 Km<sup>2</sup> et une correction au temps de base si  $I_g > 12$  ;
- l'utilisation de la méthode CIEH pour les bassins versants de superficie comprise entre 15 et 60 Km<sup>2</sup>.
- la zone géographique couverte s'étend de l'Atlantique jusqu'à 24° de longitude Est, entre les isohyètes annuelles 150-200 mm au Nord et 1200 mm au Sud. Il faut toutefois écarter la frange littorale, de 10 à 20 km de large, qui borde l'Atlantique. La hauteur et la durée des fortes pluies y sont beaucoup plus élevées qu'à l'intérieur des terres (plus du double pour les averses décennales) et la distribution des intensités dans le temps est plus complexe.

La démarche de calcul du débit maximal décennal de ruissellement pur est la suivante :

- Estimer la hauteur H de l'averse décennale ponctuelle, sans prendre en compte son intensité ;
- Calculer le volume V<sub>p</sub> de la précipitation sur le bassin ;
- Rechercher la valeur du coefficient de ruissellement K<sub>r</sub> et le volume V<sub>r</sub> effectivement ruisselé sur le bassin ;
- Evaluer le temps de base T<sub>B</sub> qui correspond à la durée effective du ruissellement sur le bassin et calculer le débit moyen M de ruissellement, pour la crue décennale, pendant un

temps égal au temps de base ;

- Obtenir le débit de point  $Q_{\max}$  de la crue décennale par la formule suivante :

$$Q_{\max} = K.M$$

avec : K, un coefficient déterminé expérimentalement.

- La méthode FRONCOU et RODIER

Ces auteurs ont classé plusieurs centaines de crues dans le monde dans un diagramme défini par la relation :

$$\log Q = f(\log A).$$

Ils ont constaté que dans des régions relativement homogènes, les points étaient plus ou moins alignés.

Dans leur formule, la valeur du paramètre k varie selon la région d'étude. Dans le cas français par exemple, on a trouvé  $k = 2$  pour un régime calme et régulier. Tandis que  $k = 6$  pour des crues record dans le monde.

A défaut de précision, le tableau suivant propose différentes valeurs de k :

**Tableau 4 :** Valeur de k selon l'importance de la crue

Crue	Normale	Importante	Exceptionnelle
K	3,2	3,6 à 4,1	4,7

**Source :** Cours d'ouvrages d'art Tome 2, ENIT, B. OUEZDOU, page 171

#### **1.1.3.4 Facteur (f) de passage à un autre débit**

L'extrapolation des courbes intensités-durées-fréquences (IDF) permet à partir de la connaissance du débit décennal, de connaître des débits sur d'autres périodes de retour. Le facteur (f) permet de lier un débit ( $Q_x$ ) autre que décennal au débit décennal par la relation :

$$Q_x = f. Q_{10}$$

Le tableau suivant récapitule les valeurs de f :

**Tableau 5:** Facteur d'extrapolation de débit (Qx)

Période de retour T	Facteur f
3 mois	0,24
6 mois	0,34
1 an	0,45
2 ans	0,57
5 ans	0,80
10 ans	1
20 ans	1,25
50 ans	1,60
100 ans	2

**Source :** Cours d'ouvrages d'assainissement routier, Lipro 3 GC, DEGAN et al, page 45

## **1.2 Fondamentaux en hydraulique**

### **1.2.1 Débit hydraulique – section hydrauliquement favorable**

La capacité d'un ouvrage hydraulique d'évacuer l'écoulement constitue le débit hydraulique. Ainsi, la détermination de l'ouverture d'un ouvrage est d'égaliser le débit du projet à celui-ci ; et pour être plus en sécurité, il faut que le deuxième dépasse le premier.

Un écoulement se déroule à un régime dit uniforme lorsque les paramètres géométriques (sections transversales et pentes), hydrauliques (vitesses du fluide) et rugosité des parois et du fond sont tous constants. En conséquence, la surface libre est parallèle au fond de l'ouvrage. Ce type d'écoulement n'a lieu que loin des extrémités et des singularités observables sur le profil en long de l'ouvrage. La hauteur correspondante à un débit donné pour un écoulement

**Source :** Cours d'ouvrages d'art Tome 2, ENIT, B. OUEZDOU, page 176

uniforme s'appelle hauteur normale ou encore tirant d'eau normale. Elle se calcule par une formule du type Manning-Strickler :

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

avec : Q, le débit à évacuer par l'ouvrage exprimé en m<sup>3</sup>/s,

K<sub>s</sub>, le coefficient de Strickler exprimé en m<sup>1/3</sup>/s, fonction de la nature de l'ouvrage,

S, la section mouillée, la section droite de l'ouvrage limitée par les parois et la surface libre, exprimée en m<sup>2</sup>,

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

$R_H$ , le rayon hydraulique de l'ouvrage exprimé en m,

$I$ , la pente du fond de l'ouvrage exprimée en m/m.

Le tableau suivant exprime les valeurs du coefficient de Manning-Strickler pour des ouvrages les plus courants :

**Tableau 6 :** Coefficient de Strickler en fonction de la nature de la canalisation

Nature de la canalisation	Ks	Observation
Tuyaux en PVC	80 à 120	conseillé 90
Tuyaux en béton	60 à 80	conseillé 70
Caniveaux en béton	50 à 80	conseillé 70
Buses métalliques en tôle ondulée	40 à 45	
Fossés revêtus coulés en place ou préfabriqués	50 à 80	conseillé 70
Fossés profonds	25 à 30	conseillé 25
Fossés peu profonds, cunettes en gazonnées	7 à 30	utilisation de la formule
de calcul avec $K = 18 \text{ Log}(100 R_H) + 5,13 \text{ Log}(\text{pente}) - 11$		

**Source :** Cours d'ouvrages d'assainissement routier, Lipro 3 GC, DEGAN et al, page 57

Quant aux ouvrages de franchissement des écoulements, le coefficient de Strickler tient compte de la granulométrie du lit et de son relief, de la géométrie des berges, Par défaut, les valeurs suivantes sont retenues :

**Tableau 7 :** Coefficient de Strickler pour un franchissement

Nature du cours d'eau	Ks
Section régulière sans végétation	35
Section régulière avec végétation	30
Section irrégulière sans végétation	25
Section irrégulière avec végétation	20

**Source :** Cours d'ouvrages d'assainissement routier, Lipro 3 GC, DEGAN et al, page 55

Le rayon hydraulique ( $R_H$ ) est le rapport entre la section mouillée ( $S$ ) et le périmètre mouillé ( $P$ ), qui est le pourtour de la partie de la section mouillée en contact avec les parois de l'ouvrage.

On a :

$$R_H = \frac{S}{P}$$

La section hydrauliquement favorable est celle qui draine le maximum d'écoulement. Elle s'exprime par une relation entre la profondeur (y) ou tirant d'eau (distance de la surface libre de l'écoulement au fond de l'ouvrage) et le rayon hydraulique :

$$R_H = \frac{y}{2}$$

### **1.2.2 Débit capable – pente critique – profondeurs**

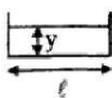
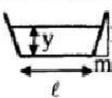
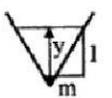
#### **I.2.2.1 Débit capable**

Lorsque l'ouvrage à dimensionner est choisi, on calcule le débit qu'il est capable d'évacuer, appelé débit capable ( $Q_{cap}$ ), par la formule de Manning-Strickler :

$$Q_{cap} = K_s \cdot R_H \cdot S \cdot \sqrt{I}$$

En fonction de la nature de l'ouvrage, la vitesse d'écoulement croit avec la hauteur d'eau. Au-delà d'une certaine hauteur d'eau, la vitesse de l'eau dépasse la limite supportable par un sol meuble. Dans ces conditions, l'ouvrage commence par se dégrader jusqu'à se détruire assez rapidement. Il y a donc lieu, pour les ouvrages, d'imposer des vitesses limites.

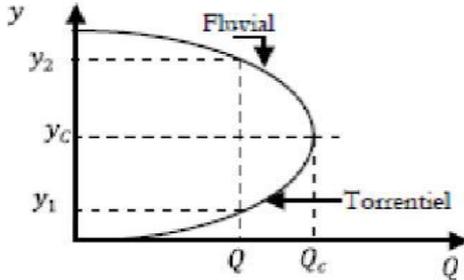
La figure suivante rappelle les formules de calcul des caractéristiques hydrauliques pour plusieurs formes de canaux.

Forme	Profondeur	Surface	Périmètre mouillé	Largeur au miroir	Rayon hydraulique	Profondeur moyenne
	y	$\ell y$	$\ell + 2y$	$\ell$	$\frac{\ell y}{\ell + 2y}$	y
	y	$y(\ell + my)$	$\ell + 2y\sqrt{1 + m^2}$	$\ell + 2my$	$\frac{y(\ell + my)}{\ell + 2y\sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{y(\ell + my)}{\ell + 2my}$
	y	$my^2$	$2y\sqrt{1 + m^2}$	2my	$\frac{my}{2\sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{y}{2}$
	$R(1 - \cos\theta)$	$\frac{R^2}{2}(2\theta - \sin 2\theta)$	2Rθ	2Rsinθ	$\frac{R}{4}(2 - \frac{\sin 2\theta}{\theta})$	$\frac{R}{4}(\frac{2\theta}{\sin\theta} - 2\cos\theta)$

**Figure 5 :** Forme de canaux et leur formule de calcul de débit capable.

### **1.2.2.2 Pente critique et son importance dans le dimensionnement**

La pente critique est la pente pour laquelle le canal écoule le débit, à la profondeur critique de façon uniforme. La figure suivante illustre la hauteur hydraulique critique ( $y_c$ ), le débit critique ( $Q_c$ ), les régimes d'écoulement.



**Figure 6 :** *Variation du débit en fonction de la hauteur hydraulique*

**Source :** Cours d'ouvrages d'assainissement routier, Lipro 3 GC, DEGAN et al, page 62

Lorsque les pentes sont supérieures à la pente critique, théoriquement le débit de Manning-Strickler serait supérieur au débit critique, ce qui serait en contradiction avec la figure précédente, car le débit maximum se limite au débit critique, pour une charge spécifique donnée. Ceci veut dire que la pente de l'ouvrage est supérieure à la pente critique. Ceci limite le dimensionnement des ouvrages en se basant sur les formules de type Manning-Strickler, qui sont établies dans les conditions de régime de type uniforme.

### **1.2.2.3 Tirant d'air**

Le tirant d'air ou revanche, est retenu en fonction de la destination de l'ouvrage.

#### 1- Cas des ouvrages d'assainissement

Le taux de remplissage est généralement pris égal à 80% de la hauteur de l'ouvrage, avec un tirant d'air minimum de 25 cm pour tenir compte des abaissements du caniveau au droit des portes cochères et de l'ouverture des bordures avaloirs.

#### 2- Cas des fossés

Les fossés peuvent être juste remplis.

#### 3- Cas des ouvrages de franchissement de cours d'eau

La revanche est prise égale à 1,00 m (cordon littoral), 1,50 m (zone de savane), 2,00 m (zone à végétation arbustive dense) et 2,50 m (zone forestière) à partir des plus hautes eaux exceptionnelles pour :

- ✓ éviter d'avoir des corps flottants (troncs d'arbre) heurtant l'intrados du tablier en cas de crue ;
- ✓ avoir les appareils d'appuis (surtout ceux en élastomère fretté) en dehors des eaux ;
- ✓ tenir compte des phénomènes de remous s'ils ne sont pas calculés, d'ailleurs.

#### **1.2.2.4 Vitesse de l'écoulement**

La vitesse de l'écoulement (V) dans le réseau est obtenue par la formule de Manning- Strickler, et son expression est la suivante :

$$V = K_s \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{I}$$

Les fossés doivent être déchargés par des divergents à des distances déterminées par la pente et la vitesse de l'écoulement. Lorsque la vitesse risque de dépasser le seuil d'érosion, les fossés doivent être maçonnés ou au moins protégés avec des pierres sèches correctement mises en place.

#### **Caniveaux**

Les caniveaux de forme rectangulaire sont utilisés lorsque le débit à évacuer est faible ou dans les zones urbaines spécifiques, en remplacement des fossés. Ils collectent les eaux de la chaussée et éventuellement du trottoir.

#### **Cunettes**

Les cunettes sont de petits canaux d'évacuation d'eau pluviale le long d'une chaussée, d'une voie ferrée ou en décaissé dans un radier ou un dallage.

#### **Bordures et bourrelets**

Ce sont des ouvrages situés en bordure de la chaussée ou de l'accotement qui permettent de protéger les talus contre le ravinement, en guidant l'eau vers les avaloirs ou les descentes. Ils peuvent être aménagés pour des activités de loisir comme des berges aménagées, des zones de pêche ou pour le canotage.

### **1.2.2.5.2- Ouvrages de rétablissement ou de franchissement des écoulements**

Les cours d'eau naturels suivent le réseau hydrographique du bassin versant. Le projet routier peut perturber cet écoulement naturel, ce qui peut avoir des conséquences néfastes sur l'ouvrage lui-même et sur les populations riveraines. Il est donc essentiel de rétablir au mieux ces écoulements naturels en utilisant des ouvrages tels que des dalots, des buses, des radiers submersibles et des ponts.

#### **Les dalots**

Les dalots sont des ouvrages de franchissement placés sous la chaussée, conçus pour supporter des surcharges sans nécessiter de remblai ou avec une faible épaisseur de remblai (1 à 2 m). Ils sont spécialement calculés pour les débits élevés (dépassant 10 m<sup>3</sup>/h).

#### **◆ Types de dalots :**

- Dalots ordinaires : piédroits verticaux fondés sur semelles ou radier général, avec une dalle en béton armé.
- Dalots cadres : structure rigide en béton armé comprenant la dalle, les piédroits et le radier.
- Dalots portiques : similaires aux dalots cadres mais sans radier, avec des piédroits verticaux fondés sur semelles.



**Photo 1 : Différents types de dalots.**

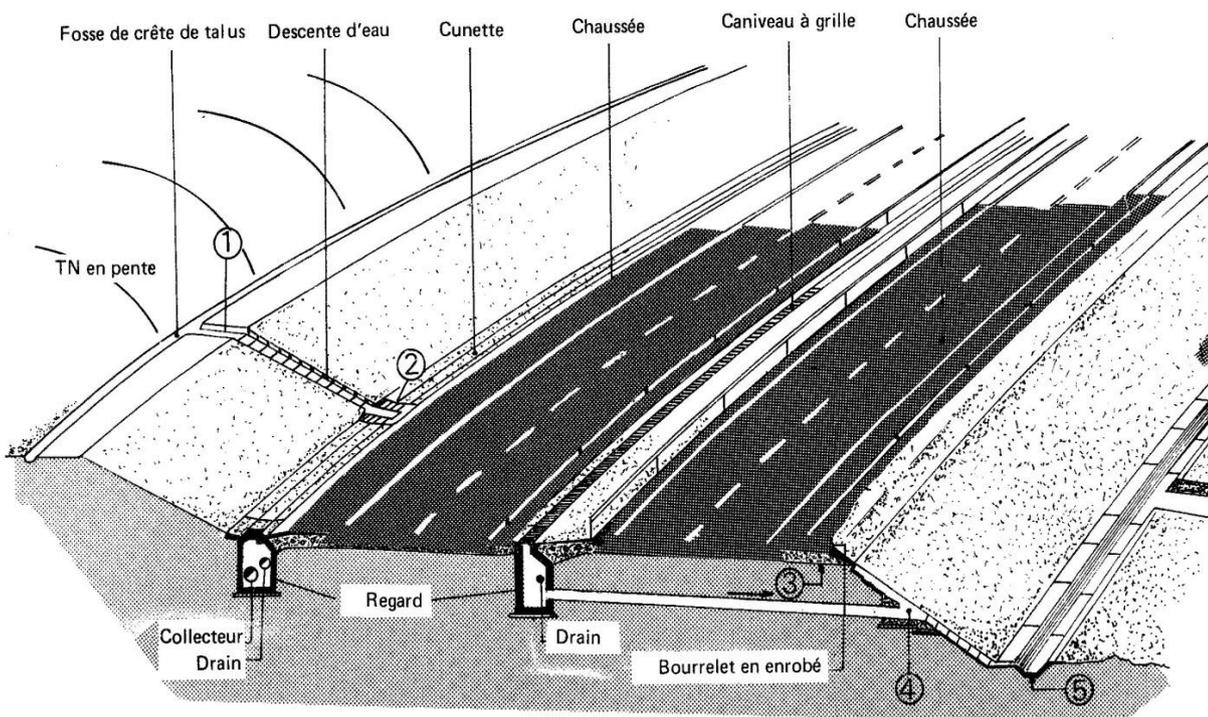
• **Caractéristiques :**

Les dalots sont en béton armé et résistent à toutes les contraintes extérieures et intérieures, ils sont constitués par les éléments principaux suivants :

- ◆ Un radier ou une semelle en béton armé ;
- ◆ Si l'ouvrage de traversé est un matériau préfabriqué, il est généralement posé directement sur la semelle ;
- ◆ S'il est coulé sur place, il est généralement constitué de : piédroits, une dalle en béton armé, deux murs de tête, quatre murs en aile (deux en amont et deux en aval)
- ◆ L'enrochement de protection amont et aval ;
- ◆ Les remblais d'accès ;

**Schéma général de l'ensemble des ouvrages**

Il permet de voir une vue d'ensemble de la plupart des ouvrages cités ci-dessus



**Figure N°11 : Schéma général des ouvrages de collecte des eaux superficielles sur un ouvrage routier :** Ouvrages de raccordement : 1. Fossé de crête de talus à une descente d'eau, 2. D'une descente d'eau à un fossé plat, 3. D'un bourrelet à une descente d'eau, 4. D'une

traversée sous chaussée à une descente d'eau, 5. D'une descente d'eau à un fossé profond.

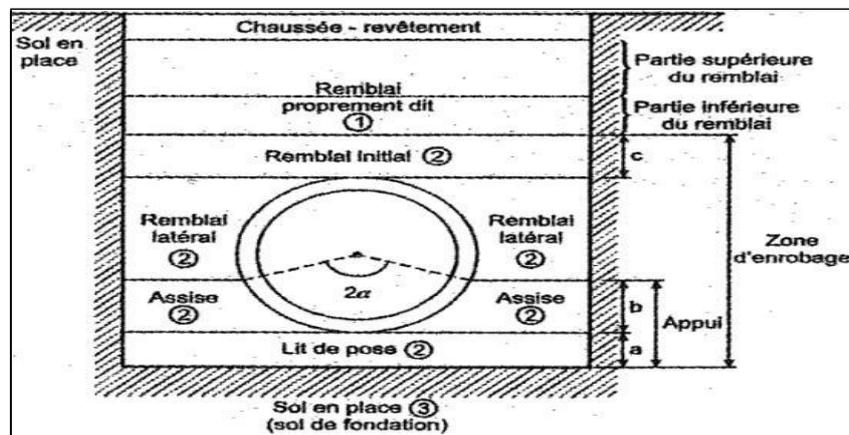
- **Les buses :**

- **Définition et caractéristiques :**

Les buses sont des ouvrages utilisés exclusivement dans des sections où l'on dispose d'épaisseur suffisante de remblai, avec un minimum de remblai au-dessus d'elles égale à 0.80 m. Elles peuvent être en béton métallique et peuvent avoir des sections circulaire, ellipsoïdale, en arche ou encore ovoïdale. Quand elles sont en béton, elle nécessite une fondation rigide et dès lors que leur diamètre commence par dépasser 1.20 m, elles ne sont plus intéressantes à cause de leur poids. Les buses sont généralement des éléments préfabriqués.



**Photo 2 : Différents model des buses.**



**Figure 7 : Conception d'une buse.**

- **Types des buses :**

On a deux types de buses sont couramment utilisés :

- ◆ Les buses en béton,
- ◆ Les buses en métal.

Les buses sont utilisées exclusivement dans des sections où l'on dispose d'une épaisseur suffisante de remblais (un minimum de 0.8 m de remblai est nécessaire au-dessus de la buse) et peuvent être utilisées avec des hauteurs de remblais élevées. Dans le cas des buses métalliques, cette hauteur de remblai admissible est fonction de l'épaisseur de la buse.

Afin de permettre le nettoyage ou le curage des buses qui risquent souvent d'être obstruées partiellement par les dépôts de sédiments et de pierres charriés par les eaux, il est conseillé de ne jamais adopter un diamètre inférieur à 800 mm

Les débits admissibles sont donc variables et peuvent être très élevés dans le cas d'une batterie de plusieurs buses de grand diamètre quand la topographie du site permet un tel dispositif.

- **Les radiers :**

**Définition :** Les radiers et les ponts submersibles sont des ouvrages hydrauliques qui sont submergés pendant les crues et qui permettent le franchissement des rivières seulement pendant les basses eaux. Si tout l'écoulement du cours d'eau se fait exclusivement au-dessus des radiers, un certain débit s'écoule sous le tablier dans le cas des ponts submersibles et c'est seulement lorsqu'une crue produit un débit supérieur que l'excédent passe au-dessus du tablier du pont.

Un radier est un ouvrage qui permet de franchir les rivières en basses eaux et qui est submergé en cas de crues. Le radier est établi sur le fond de la rivière et l'eau passe exclusivement par-dessus. Il est donc construit sur un cours d'eau de faible pente, moyennement large, de faible hauteur des berges, et qui reste sec en grande partie de l'année

Ce type d'ouvrage convient surtout en zone désertique. Le radier routier est généralement composé de :

- ◆ Un radier en béton ou en béton armé ;
- ◆ Une protection en amont et une autre en aval ;
- ◆ Des balises de signalisation.



**Photo 3 : Radier semi-submersible**

- **Caractéristiques :**

Le franchissement d'une rivière par un radier routier est moins coûteux qu'un dalot ou un pont, mais il présente un inconvénient majeur : le trafic est interrompu lors des crues. L'interruption est due souvent à la hauteur d'eau qui peut correspondre aussi à des vitesses excessives. On admet généralement des hauteurs de 0.4 m pour les voitures et 0.6 m pour les camions, avec des vitesses moyennes d'écoulement n'excédant pas 1.5 m/s.

Le radier lui-même est ancré dans le sol et il est protégé à l'amont et l'aval contre l'érosion régressive par un tapis de gabion semelle ou par un enrochement.

- **Les ponts :**

**Définition :** Un pont est un ouvrage qui permet de franchir une dépression ou un obstacle (cours d'eau, voies de communication) en passant par-dessus. Il est construit sur cours d'eau lorsque : le débit est important, la dépression est très profonde, ou le trafic routier est élevé. Le pont est composé de trois parties principales :

- ◆ Les fondations qui permettent de transmettre les efforts au terrain ;
- ◆ Les appuis comprenant :
  - Les culées qui servent d'appuis aux extrémités du tablier et supportent les poussées des remblais ;
  - Les piles qui supportent le tablier entre les culées ;
- ◆ Un tablier qui supporte les voies de circulation (automobiles, piétons, animaux) ; il peut être en une ou plusieurs travées en fonction de la largeur de la vallée à traverser ;

- **Caractéristiques :**

L'étude hydraulique consiste à déterminer les caractéristiques suivant du pont :

- ◆ La hauteur d'eau est déterminée à partir de la crue de projet. Cette dernière est estimée

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

par les méthodes hydrologiques pour des périodes de retour prises égale à 200, 500 ou 1000 ans. La crue de projet à prendre en compte dépend de l'importance de la route.

- ◆ Certains auteurs recommandent une estimation de la crue de projet centennale multipliée par un facteur de sécurité variant de 1.5 à 2 ;
- ◆ La hauteur d'eau est calculée par la formule usuelle de débit de Manning-Strickler
- ◆ Le tirant d'air est prévu pour diminuer le risque d'obstruction partielle ou totale du pont. Il dépend des risques de charriage et de l'importance de l'ouvrage. Pour des ponts de longueur inférieure à 50 m, on adopte généralement un tirant d'air au moins égal à :

**□ En zone désertique :**

- ✚ Si la portée du pont est  $< 50$  m, le tirant d'air doit être  $\geq 1.5$  m ;
- ✚ Si la portée du pont est  $> 50$  m, le tirant d'air doit être  $\geq 1,0$  m ;

**□ En zone forestière :**

- ✚ Si la portée du pont est  $< 50$  m, le tirant d'air doit être  $\geq 3,0$  m ;
  - ✚ Si la portée du pont est  $> 50$  m, le tirant d'air doit être  $\geq 2,0$  m ;
- ◆ Il est recommandé d'estimer la profondeur d'affouillement au niveau des piles et d'évaluer l'érosion des berges.



**Photo 4 : Ouvrage de franchissement : le pont.**

## **II- Revue de Littérature**

La revue de littérature présente l'état des connaissances en matière de dimensionnement hydrologique, hydraulique et structurale des ouvrages d'assainissement routier. Cette étude se base sur plusieurs ouvrages pertinents et propose des méthodes de traitement dans le cadre des projets d'assainissement de routes. Voici un aperçu des principaux travaux consultés :

1. Manuel hydraulique routière (Bceom, 1981)
  - Traite des aspects hydrauliques et structuraux pour l'assainissement routier.
2. Guide de conception ponts – cadres et portiques (Setra, 1992)
  - Fournit des recommandations pour la conception des ouvrages d'art.
3. Guide de drainage routier (MTP-Maroc, 1997)
  - Aborde les aspects spécifiques au drainage des routes.
4. Guide du projeteur ouvrage d'art – ponts courants (Setra, 1999)
5. Cours d'ouvrage hydrauliques (M. Khelifa & H. Zouheir, ENIT, 2012)
6. Guide chaine algorithmique modulaire ouvrages d'art programme de calcul des ouvrages de type PICF (Cerema, 2016)
7. Cours d'ouvrage d'art, tome 2, dimensionnement – Annexe A (O. Mongi, ENIT, 2018)
8. A. C. Biaou, « Cours De Calcul Et Conception Des Ouvrages Hydrauliques »
9. A. BIAOU, « Calcul et conception des ouvrages hydrauliques », juin 2015
10. Adamah MESSAN « cours béton armé 3 »
11. Ahmed ALLA « cours de drainage et assainissement routier »
12. Edwige Yirdon HIEN, Mémoire de fin d'études : Dimensionnement hydraulique et structural d'un ouvrage de franchissement sur l'axe Boutou-Boulel, 2012
13. Fascicule 62, titre I du CCTG - Travaux section 1 : béton armé, « Règles BAEL 91 révisées 99 : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites », Février 2000
14. Ministère Français de l'Équipement et du Logement, Fascicule 61 conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, Titre II- programme des charges et épreuves des ponts routes
15. W. Narcisse (2019) sur « Etude détaillée d'un ouvrage de franchissement et ses voies d'accès en terre dans la région du sahel au Burkina Faso »,
16. AGOSSOU Rogatien D.K, 2021, Mémoire de fin de formation. Filière GC, « Conception et dimensionnement d'un ouvrage de franchissement routier dans la commune de GLAZOUE », Univ.ABOMEY-CALAVI, 97p

17. AKA ANODJO FRANCK CHRISTIAN, 2009, mémoire pour l'obtention du master d'Ingénierie en génie civil, « Analyse conception et dimensionnement des ouvrages hydrauliques routiers de la route Koudougou-toma en vue de son bitumage.», Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE), 97p
18. KOTY S. DAMIEN, 2018, EPAC, « Dimensionnement hydrologique, hydraulique et structural d'un dalot de section 4 x (4,00 x 3,00) au PK 1325.00m de la rue 12.887 à AKOGBATO commune de Cotonou» Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception en génie civil. Rédigé et soutenu, 113p
19. B. KERLOC'H, « assainissement routier la conception technique des ouvrages d'assainissement routier », 43p
20. Nehaoua A. (2011). « Assainissement routier », Société des études Techniques Sétif, ppt
21. Abdelkader BOUDERBALA, Septembre 2017, « hydraulique (Polycopié de Cours destiné aux étudiants M1 Géotechnique) », Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre Université de Khemis Miliana, 98p
22. Référentiel Conception et gestion des ouvrages d'assainissement, édition GRANDLYON mars 2017

Ces ouvrages fournissent une base solide pour le dimensionnement et la conception des ouvrages d'assainissement routier, en mettant l'accent sur le confort, la sécurité et la pérennisation des infrastructures. Les auteurs et les publications mentionnés offrent une variété d'approches et de méthodologies pour aborder les défis de l'assainissement dans les projets de routes.

### **III- Présentation du projet**

#### **3.1- Cadre géographique de l'étude**

Ce chapitre présente le projet dans son environnement géographique, les états des lieux et les objectifs en matière d'assainissement de l'axe Adourekoman - Oke Okounou.

#### **3.2- Situation géographique**

La commune de Glazoué est l'une des six communes du département des Collines, située en plein cœur du Bénin et au centre du département. Elle est limitée :

- Au Nord par les communes de Ouèssè et de Bassila,
- Au Sud par la commune de Dassa-Zoumè,

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

- À l'Est par les communes de Ouèssè et Savé,
- À l'Ouest par les communes de Bantè et Savalou.

La commune s'étend sur une superficie de 1750 km<sup>2</sup>, soit 1,57 % de la superficie nationale.

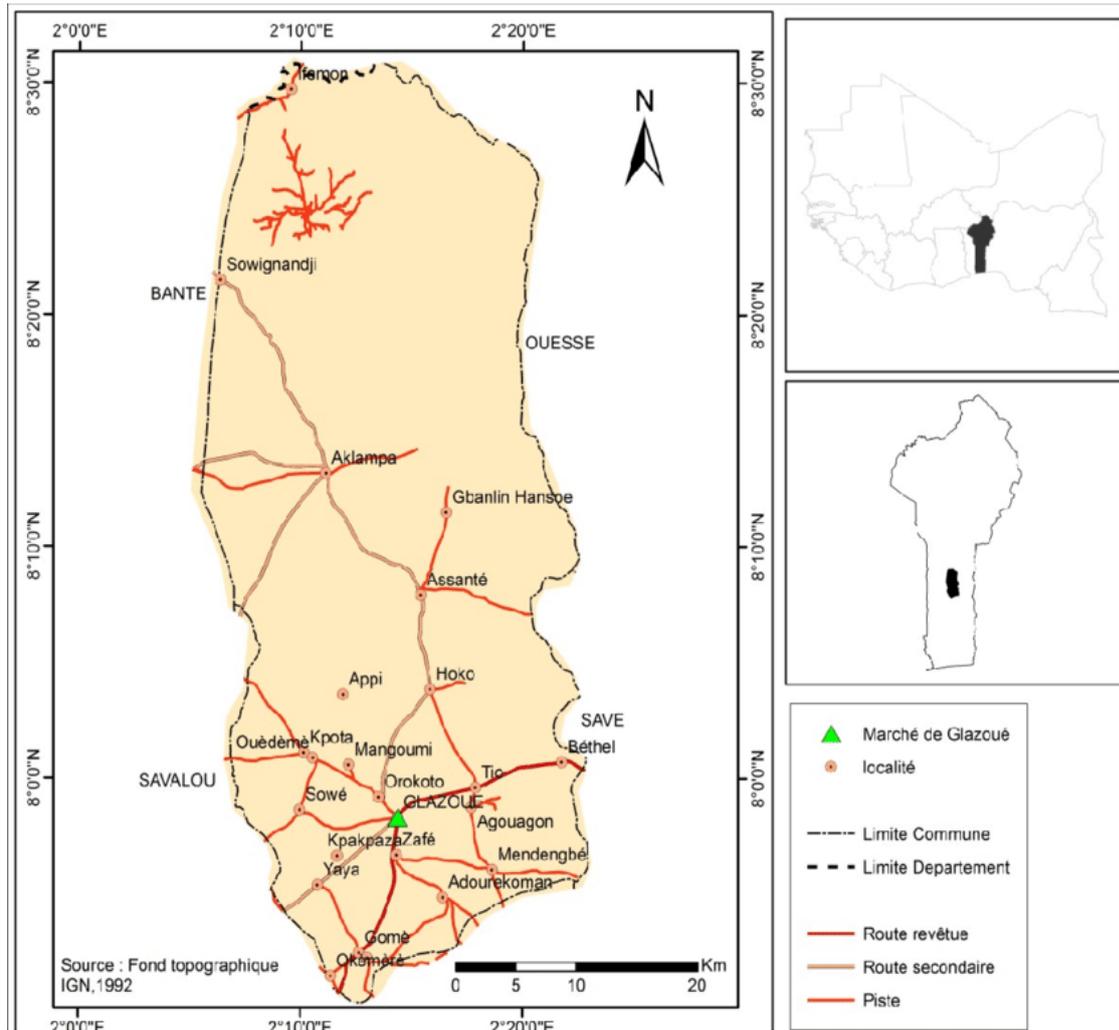
### **Population**

La population actuelle de la commune est de 124 431 habitants, composée de 51,8 % de femmes et de 48,2 % d'hommes selon les données du RGPH4. La commune de Glazoué compte soixante-huit (68) villages administratifs.

### **3.3- Description de l'axe Adourekoman - Oke Okounou**

L'axe Adourekoman-Oke Okounou est situé dans la région sud de Glazoué. Cette zone est caractérisée par son potentiel touristique, comprenant des restaurants, des musées, des bureaux et d'autres installations.

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*



**Photo 5 :** Carte Topographique de la commune de GLAZOUE

**3.3 - Localisation du projet**

**Tableau 09:** Localisation de ouvrages

NOMENCLATURE	LOCALISATION	
	Longitude	Latitude
OH 1 (Dalot)	423529,3	874887,95

**3.3.1 Caractéristiques climatiques**

La Commune de Glazoué est située dans la zone de transition climatique entre le Subéquatorial et le Soudanien, caractérisée par un climat Soudano-Guinéen (Balogun et al., 2016). Ce climat se distingue par :

- Deux saisons pluvieuses, dont une petite.

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

- Deux saisons sèches, dont une petite également (Adekambi, 2005 ; Adelman et al., 2008 ; Diagne et al., 2012).

Ces dernières années, les précipitations de la grande saison des pluies sont devenues irrégulières avec un retard dans leur installation. La transition entre la grande saison et la petite saison des pluies n'est plus nette, ces deux saisons semblant se chevaucher, avec une période de transition marquée par une sécheresse d'environ 15 jours. Ainsi, la grande saison des pluies s'étend de Mars à mi-Juillet, tandis que la petite saison des pluies va d'Août à fin Octobre. La grande saison sèche, quant à elle, s'étend de Novembre à Décembre.

### **3.3.2- Description de la route concernée**

La route concernée est une voie en terre qui relie plusieurs localités pour le développement de leurs activités économiques et sociales.

#### **Axe Adourekoman – Oke Okounou (OH 03)**

L'axe OH 03 est largement utilisé par la population locale, reliant le centre de la ville à une grande zone agricole ainsi qu'à des lieux de rassemblement importants.

#### **Observations sur l'état actuel de la route :**

D'après les informations recueillies sur place et nos observations en temps de crue, le cours d'eau traversant l'axe rend la circulation très difficile voire impossible pour les usagers, car il coupe le tronçon en deux parties.

#### **Description du tronçon concerné par l'étude :**

Le tronçon étudié se présente comme suit :

- **Localisation géographique :** Région sud de Glazoué.
- **Type de voie :** Route en terre.
- **Longueur :** À déterminer.
- **Caractéristiques :** Le cours d'eau adjacent a un impact significatif lors des crues, nécessitant une intervention d'assainissement appropriée pour assurer la continuité de la circulation.

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

Le tronçon concerné par l'étude se présente comme suit :



**Photo 5 :** *Etat des lieux de la zone du projet. Source :* Remise de site

## **CHAPITRE II : Matériel, Matériaux et Méthodologie**

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

## **I- Matériels – Méthodes**

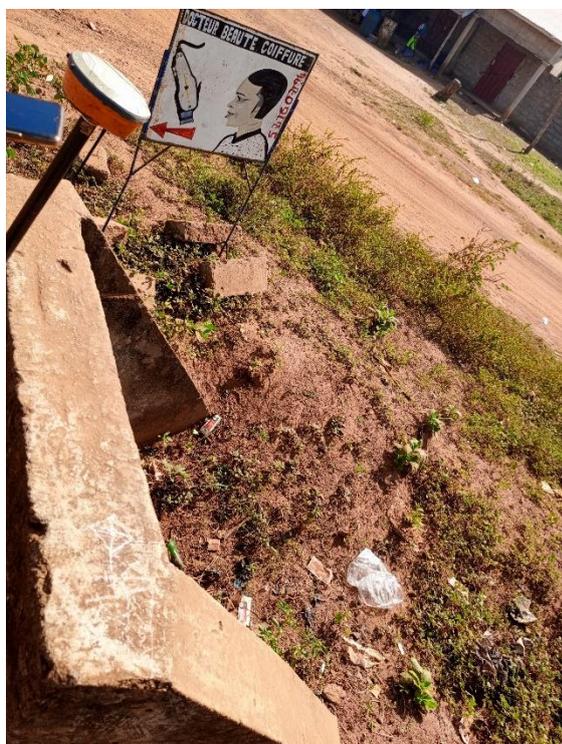
Ce chapitre présente les matériels utilisés, les données recueillies dans le cadre de cette étude, les hypothèses de calcul fixées et les méthodes de traitement retenues.

### **1.1- Matériel et levé topographique**

L'étude a débuté par une mission d'investigation organisée afin d'appréhender l'état actuel des sites. Cette mission a porté sur :

- Reconnaissance de l'état général de la route au point de vue drainage ;
- Identification et diagnostic des ouvrages existants, des passages d'eau et de toute autre section connaissant des dégradations ou des sollicitations hydriques ;
- Relevés des laisses de crue et entretiens avec les populations riveraines sur les niveaux d'eau exceptionnels connus et ceux couramment atteints.

Ce diagnostic permet la proposition des interventions éventuelles sur les ouvrages existants ainsi que les ouvrages nouveaux à réaliser afin d'assurer le drainage et le franchissement efficace des cours d'eau et la protection de la route.





**Photo 6** Levé Topographique pour l'ensemble des sites du projet

Au terme de nos analyses sur l'étude Topographique de l'ouvrage d'assainissement, nous avons élaboré le levé Topographique de la zone ainsi que le profil en long de la route montrant les dénivelés entre l'état actuel du site et la côte projet.

## **1.2- Matériel topographique – Unités et tolérances – Réseau géodésique**

### **1.2-1- Unités et tolérances**

#### a) Unités

**Tableau 10 : Unités de mesure géométrique adoptées**

N°	Désignation	Unité
1	Coordonnées (x, y, z)	mètre (m)
2	Distance et dénivelée	mètre (m)
3	Angle et gisement	grade (gr)

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

b) Tolérances

**Tableau 11 : Tolérances sur les mesures géométriques**

N°	Désignation	Détail	Tolérance
1	En plan	Ecart entre deux mesures indépendantes de distance (sens longitudinal)	± 3 cm
		Ecart entre deux mesures indépendantes de distance (sens transversal)	± 1 cm
2	Angle	Ecart entre deux mesurages angulaires	± 5 mgr
3	En niveau	Entre 2 bornes espacées au plus de 200 mètres	± 2 mm
4	Tolérance de fermeture angulaire	Cheminement à n côtés fermé ou encadré	En mgr
		$Ta = 2,70a \cdot n^{1/2}$ ou $Ta = 2,70a \cdot (n+1)^{1/2}$	
5	Tolérance de fermeture planimétrique	Cheminement à n côtés	En cm
		$TL = 2,70L \cdot n^{1/2}$	
6	Tolérance en nivellement direct (géométrique)	Canevas de précision, n	En mm
		16, L en kilomètres	
		$T = 4(9L+L^2)^{1/2}$	
7	Tolérance dans la détermination de position par récepteurs GPS/GNSS	Se conformer aux spécifications du cahier des charges du maître d'ouvrage	2 cm

Ces tableaux sont basés sur les références suivantes :

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

- Arrêté année 2009 n°0068/MUHRFLEC/DC/SGM/IGN/DGURF/SA du 20/12/2009 fixant les normes et spécifications techniques applicables aux travaux topographiques et cartographiques en République du Bénin.
- CCTP type « F – Travaux d'implantation » (art. 2.05.32 et 2.07.3) établi par le SETRA pour les opérations topographiques destinées à l'établissement de projets routiers.
- Arrêté du 16 septembre 2003 modifiant l'arrêté interministériel du 21 janvier 1980 portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'Etat, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte.

### **1.3 Réseau géodésique du Bénin (RGB)**

Les caractéristiques du système géodésique du Bénin sont les suivantes :

- **Ellipsoïde de référence : WGS 1984**
  - Demi-Grand Axe (a) : 6378137.0000 m
  - Inverse de l'Aplatissement (1/f) : 298.25722356300
  - TRF 1993 (epoch 1995.9)
- **Projection : UTM (Universal Transverse Mercator)**
  - Numéro de Zone : 31
  - Méridien Central : 3° 00'00.00000" E
  - Hémisphère : Nord
  - Facteur échelle au méridien central : 0.9996
  - Abscisse arbitraire : 500 000 m
  - Ordonnée arbitraire : 0 m
- **Paramètres de transformation :**
  - Translations nulles
  - Rotations nulles
  - Facteur d'échelle = 1.

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

Conformément à l'Article 5 de l'arrêté année 2009, « Le Réseau Géodésique du Bénin (RGB) comprend le réseau géodésique de premier ordre et celui du second ordre ». Les bornes IGN\_PNV et IGN\_311 sont des bornes géodésiques de deuxième ordre.

#### **1.4 Spécifications techniques du GPS-GNSS G1 de marque SOUTH**

- **Caractéristiques GNSS**
  - 220 canaux
    - GPS : L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
    - GLONASS : L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
    - SBAS : WAAS, EGNOS, MSAS
    - Galileo : E1, E5A, E5B (test)
    - Beidou : B1, B2 (en option)
  - Mitigation avancée du multi-trajet
  - Mesure de phase de porteuse à faible bruit
- **Spécifications de performance**
  - **RTK (Temps Réel Kinématique)**
    - Horizontal : 8 mm + 1 ppm RMS
    - Vertical : 15 mm + 1 ppm RMS
    - Temps d'initialisation : typiquement < 10 s
    - Fiabilité d'initialisation : typiquement > 99.9 %
  - **Post-traitement Statique**
    - Horizontal : 3 mm + 0.5 ppm RMS
    - Vertical : 5 mm + 0.5 ppm RMS
    - Longueur de la ligne de base :  
  
300 km
  - Avec SBAS < 1 m RMS

#### **1.5 Spécifications techniques du niveau NAK2 de marque WILD**

- **Caractéristiques**

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

- Niveau automatique pour l'implantation et le contrôle de la stabilité des ouvrages
- Contrôle de l'horizontalité par bouton poussoir
- **Performances spécifiques**
  - Grossissement : 32 x
  - Visée minimale : 1.6 m
  - Ecart-type sur 1 kilomètre de nivellement double :  $\text{emq/km} = 0.7 \text{ mm}$

## **1.6- Levé de la polygonale de base et levé de détail / terrain**

### **1.6.1- Implantation et observations des points polygonaux**

Des bornes en béton de section  $20 \times 20 \times 50 \text{ cm}^3$ , coulées sur place et enfouies dans le sol à une profondeur de 45 cm, sont implantées tous les 200 mètres environ le long de la route, dans des endroits dégagés de tout obstacle assurant leur pérennité. Ces bornes sont marquées à la peinture jaune-émail et portent l'inscription OF5 à OF9 et DI-1.

Elles sont observées en mode RTK avec le GPS-GNSS G1 de marque SOUTH et nivelées directement (en aller-retour) au niveau automatique NAK2 de marque WILD. Ensuite, elles sont rattachées :

- Au réseau géodésique de référence du Bénin.
- Au réseau de nivellement général du Bénin.

### **1.6.2- Levé du détail et du terrain naturel**

Le levé du détail est effectué simultanément avec le nivellement du terrain naturel à l'aide du GPS-GNSS G1 de marque SOUTH. Le levé dans les zones d'ouvrages hydrauliques existants est réalisé conformément aux exigences de l'étude hydraulique.

Les éléments suivants sont relevés dans le cadre du levé de détail :

- Altitude des seuils des édifices.
- Amorces de rue.
- Ouvrages hydrauliques.

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

- Arbres.
- Limites du lotissement.
- Bouches d'eau.
- Poteaux électriques et téléphoniques, entre autres.

### **1.6.3- Traitement des données**

Le traitement des données est effectué au bureau et comprend notamment :

- Calcul de la polygonale de base et rattachement aux repères existants.
- Transfert des données du carnet électronique à l'ordinateur.
- Interprétation du semi de points.
- Dessin du fond de plan sur AUTOCAD 2016.

## **II- Méthodes**

### **2.1- Démarche de l'étude hydrologique et hydraulique et du dimensionnement structural.**

#### **2.1.1- Démarche de l'étude hydrologique**

L'étude hydrologique permet tout d'abord de déterminer le type de bassin versant à étudier ainsi que ses paramètres physiques, puis d'obtenir une quantification correcte du volume d'eau qui transitera par l'ouvrage à dimensionner à partir de la fréquence de pluies. La zone du projet est marquée par des conditions climatiques proches de celles généralement observées en Afrique subéquatoriale :

- Deux saisons pluvieuses dont une petite.
- Deux saisons sèches dont une petite également.

La pluviométrie annuelle moyenne varie entre 959,56 mm et 1255,5 mm, avec une température moyenne variant entre 24°C et 29°C. Le relief est marqué par la présence de plateaux (200 à 300 mètres), dominés par des collines par endroits.

L'hydrographie est constituée d'une part d'un important cours d'eau, le fleuve Ouémé, qui arrose la commune au niveau des différents villages, et d'autre part de petits cours d'eau

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

locaux qui favorisent le développement du maraîchage de contre-saison et les activités de pêche artisanale.

On trouve également plusieurs types de sols, parmi lesquels les principaux sont :

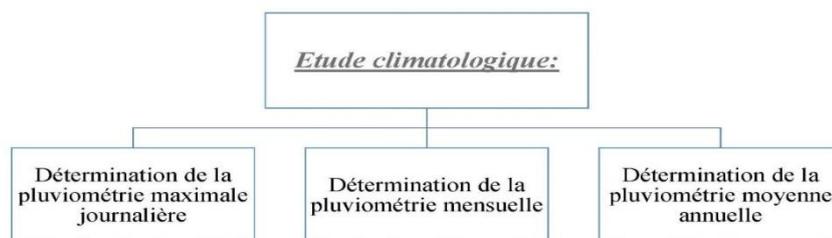
- Les sols sablonneux blancs.
- Les sols sablonneux noirs que l'on rencontre par endroits.
- Les sols caillouteux.

#### 2.1.1.1- PLUVIOMETRIE :

La pluviométrie dans la région étudiée est caractérisée par les données suivantes :

- Pluviométrie annuelle moyenne : 959,56 mm à 1255,5 mm.
- Température moyenne : 24°C à 29°C.
- Deux saisons pluvieuses (une grande et une petite).
- Deux saisons sèches (une grande et une petite).

Ces conditions climatiques influencent directement le dimensionnement des ouvrages d'assainissement et nécessitent une analyse précise des débits et volumes d'eau pour assurer la pérennité des infrastructures routières.



**Figure 8 : diagramme de l'étude pluviométrique**

#### **2.1.1.2 Délimitation du bassin versant**

Le bassin versant, en une section droite d'un cours d'eau, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section.

Pour identifier les bassins versants, nous avons d'abord effectué le tracé de la route à l'aide du logiciel Google Earth, puis nous l'avons exporté vers le logiciel Global Mapper pour y délimiter les bassins

versants et faire ressortir les différents paramètres de ceux-ci.

### **2.1.1.3 Évaluations des débits**

L'évaluation des débits de crue est effectuée à l'aide de plusieurs méthodes hydrologiques déterministes adaptées aux conditions locales :

- **Méthode rationnelle** : Utilisée pour estimer les débits de ruissellement en fonction de la pluviométrie et des caractéristiques du bassin versant.
- **Méthode OSTROM** : Méthode adaptée aux régions semi-arides, basée sur l'analyse des données pluviométriques historiques et des caractéristiques du bassin versant.
- **Méthode CIEH (Courbe Intensité-Durée-Fréquence - IDF)** : Utilisée pour déterminer les intensités de pluie maximales en fonction de la durée et de la fréquence des événements pluvieux.

Ces méthodes permettent de calculer les débits de crue et de dimensionner les ouvrages d'assainissement nécessaires pour gérer efficacement les eaux pluviales dans la région étudiée.

#### **2.1.1.3.1- La Méthode rationnelle ;**

Elle est applicable à des petits bassins versants dont la superficie ne dépasse pas 4 km<sup>2</sup>.

La formule s'écrit comme suit :

$$Q = 0.278CIA$$

**Q**: Débit maximal de la crue décennale (m<sup>3</sup>/s)

**C**: Le coefficient de ruissellement

**I**: L'intensité de pluie de l'averse (mm/h)

**A**: La superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

- **Coefficient de ruissellement**

Le coefficient de ruissellement C est déterminé par la morphologie du terrain, la couverture végétale, la pente et la nature du sol. Le temps de concentration peut être calculé avec la formule de Kirpich, tandis que l'intensité de la pluie est déterminée à partir de la formule de Montana : Quelques valeurs du coefficient C sont renseignées en annexe 2

- **Temps de concentration**

Le temps de concentration peut se calculer avec la formule de KIRPICH.

$$T_C = \frac{1}{58} \times \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}}$$

- **Intensité de pluie**

L'intensité de la pluie est déterminée à partir de la formule de Montana

$$I = a \times t_c^{-b}$$

les coefficients a et b sont les coefficients de Montana et ils varient selon la région pluviométrique. Ils dépendent également de la période de retour choisie et de la durée de la pluie. Tenant compte du fait que nous sommes dans un réseau d'assainissement pluvial d'une zone urbanisée, il est judicieux de considérer une période de retour de T=10 ans pour le dimensionnement. Pour cette période de retour de 1 à 10 ans, les coefficients de Montana de la station météorologique de Savè seront utilisés.

### **2.1.1.3.2- La Méthode OSTROM :**

#### **2.1.1.3.2.1-Conditions d'utilisation de la méthode ORSTOM :**

1. **Superficie du bassin versant (S) :** Cette méthode est adaptée pour des bassins versants dont la superficie est comprise entre 0,2 et 120 km<sup>2</sup>. Toutefois, elle peut être utilisée jusqu'à 2000 km<sup>2</sup> dans certaines conditions.
2. **Pluie de projet :** La méthode ORSTOM est particulièrement conçue pour estimer les débits de crue associés à des pluies extrêmes, notamment celles de période de retour de 10 à 100 ans.

3. **Longueur du rectangle équivalent (Lre) :** Cette méthode utilise la longueur du rectangle équivalent du bassin versant pour estimer les débits de crue. Cela permet de prendre en compte la forme du bassin versant dans le calcul des débits.
4. **Indice global de pente (Ig) :** L'indice global de pente est un paramètre important dans la méthode ORSTOM, car il permet de caractériser l'inclinaison du terrain et son influence sur l'écoulement des eaux de crue.
5. **Coefficient de pointe (K) :** Ce coefficient est utilisé pour ajuster le débit de crue en fonction des caractéristiques spécifiques du bassin versant, comme la géologie, la végétation, etc.
6. **Coefficients spécifiques (Kr10, A) :** La méthode ORSTOM utilise des coefficients spécifiques pour ajuster les débits en fonction des conditions locales, comme le coefficient de ruissellement pour des sols argileux (Kr10) et le coefficient d'abattement (A) pour prendre en compte les pertes et les interactions hydrologiques du bassin.
7. **Domaine de validité géographique :** Bien que principalement utilisée en Afrique de l'Ouest, la méthode ORSTOM peut être appliquée dans d'autres régions du monde sous réserve de son adaptation aux conditions locales.

#### **2.1.1.3.2.2-Méthodologie de calcul du débit avec la méthode ORSTOM :**

La méthode ORSTOM se décompose généralement en plusieurs étapes :

1. **Calcul de la pluie de projet (Pj10) :**
  - Déterminer la pluie journalière pour une période de retour de 10 ans (Pj10) en mm. Cette valeur est obtenue à partir des données pluviométriques annuelles extrêmes.
2. **Calcul de l'aire du bassin versant (S) :**
  - Déterminer la superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.
3. **Calcul de la dénivellation moyenne (He) :**
  - Calculer la dénivellation moyenne entre les points correspondants à 5% et 95% de la courbe hypsométrique du bassin versant, exprimée en mètres.
4. **Calcul de la longueur du rectangle équivalent (Lre) :**
  - Calculer la longueur du rectangle équivalent du bassin versant, exprimée en kilomètres.

**5. Calcul de l'indice global de pente (Ig) :**

- Calculer l'indice global de pente du bassin versant, exprimé en m/km.

**6. Calcul du temps de base (Tb) :**

- Calculer le temps de base du bassin versant, exprimé en heures. C'est le temps moyen nécessaire pour que l'eau ruisselle de la partie la plus haute à la partie la plus basse du bassin.

**7. Coefficient de pointe (K) :**

- Déterminer le coefficient de pointe en fonction des caractéristiques du bassin versant et des sols.

**8. Coefficient de ruissellement (Kr10) :**

- Déterminer le coefficient de ruissellement pour une période de retour de 10 ans.

**9. Coefficient d'abattement (A) :**

- Déterminer le coefficient d'abattement, qui peut être utilisé pour ajuster le débit en fonction des caractéristiques locales du bassin versant.

**10. Calcul du débit de crue (Q10) :**

Le débit maximal correspondant au ruissellement de la crue décennale est défini par la relation :

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

Le débit maximal correspondant au ruissellement de la crue décennale est défini par la relation : Dans la méthode, le débit de pointe correspond au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation :

$$Q_{10max} = m \times k \times k_{r10} \left[ \frac{A \times P_{10} \times S}{3,6 \times T_b} \right]$$

Avec :

m : Le coefficient majorateur d'écoulement prenant en compte le débit d'écoulement

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

retardé ; estimé entre 1.03 et 1.15 au regard de la perméabilité des bassins ;

$k$  : Coefficient de pointe, correspondant à la crue décennale,

$k_{r10}$  : Coefficient de ruissellement,

$A$  : Coefficient d'abattement de la pluie qui est fonction de la superficie du bassin versant en  $\text{km}^2$ , et de la pluviométrie annuelle en (mm),

$P_{10}$  : Pluie journalière décennale en (mm)

$S$  : Surface du bassin versant en  $\text{km}^2$

$T_{b10}$  : Temps de base de la crue en (mm).

#### **2.1.1.3.2- Méthode CIEH**

##### **2.1.1.3.2.1- Conditions d'utilisation de la méthode CIEH :**

1. **Superficie du bassin versant (S)** : La méthode CIEH est adaptée pour des bassins versants dont la superficie est comprise entre 2 et 2000  $\text{km}^2$ . Elle peut être utilisée pour des bassins plus grands, avec adaptation.
2. **Pluie de projet** : La méthode CIEH est conçue pour estimer les débits de crue associés à des pluies extrêmes, notamment celles de période de retour de 10 à 100 ans.
3. **Paramètres spécifiques (Pan, Pm10)** : La méthode CIEH utilise plusieurs paramètres pour ajuster les débits en fonction des caractéristiques spécifiques du bassin versant, tels que Pan (précipitation annuelle moyenne) et Pm10 (précipitation moyenne mensuelle du mois le plus pluvieux).
4. **Indice global de pente (Ig)** : Comme pour la méthode ORSTOM, l'indice global de pente est utilisé pour caractériser l'inclinaison du terrain et son influence sur l'écoulement des eaux de crue.
5. **Coefficients spécifiques (CIEH 1, CIEH 2, CIEH 3)** : La méthode CIEH utilise des coefficients spécifiques pour ajuster les débits en fonction des conditions locales, notamment pour les sols, la végétation, etc.

6. **Domaine de validité géographique** : La méthode CIEH est principalement utilisée dans les régions tropicales, y compris en Afrique de l'Ouest et dans d'autres régions similaires du monde.

**2.1.1.3.2.2- Méthodologie de la méthode CIEH :**

La méthode CIEH se décompose généralement en plusieurs étapes :

- **Étape 1 : Calcul de la pluie de projet** : Cette étape consiste à déterminer la pluie de projet en fonction de la période de retour choisie (10, 20, 50, 100 ans, etc.).
- **Étape 2 : Calcul des coefficients spécifiques** : Utilisation des coefficients CIEH 1, CIEH 2, CIEH 3 pour ajuster les débits en fonction des caractéristiques spécifiques du bassin versant.
- **Étape 3 : Calcul du débit de crue** : Application des formules dérivées de la méthode CIEH pour estimer le débit de crue correspondant à la pluie de projet.

L'expression générale de la formule est la suivante :

$$Q_{10} = a \times S^s \times P_{an}^p \times I_g^i \times K_{r10}^k \times D_d^d$$

Où : a, s, p, i, k, d sont des coefficients à déterminés et

$Q_{10}$  : Le débit de crue décennale ( $m^3/s$ ) ;

S: Superficie du bassin ( $km^2$ ) ;

$I_g$  : Indice global de pente ( $m/km$ ) ;

$P_{an}$  : Pluie annuelle moyenne (mm) ;

$K_{r10}$  : Coefficient de ruissellement décennal (%) ;

$D_d$  : Densité de drainage ( $km^{-1}$ )

#### **2.1.1.3.4- Méthode Caquot**

Partant de la théorie de la méthode rationnelle, la formule de Caquot permet le calcul du débit maximal d'un bassin urbanisé en tenant compte de la période de retour. Cette méthode est valable pour les bassins versants dont la superficie est supérieure ou égale à 4km<sup>2</sup>. L'expression générale de la formule est la suivante :

$$Q(F) = k \times C^m \times I^n \times A^p$$

Les coefficients et coefficients **k**, **m**, **n** et **p** dépendent de la zone de projet.

**(F)**: débit maximal à l'exutoire de fréquence *F* (m<sup>3</sup>/s)

**C**: coefficient de ruissellement

**I**: pente moyenne du bassin versant (m/m)

**A**: superficie du bassin versant

Les différentes valeurs issues de la méthode de calcul (méthode rationnelle) sont introduites dans un tableur pour les calculs et l'obtention des résultats.

Cette formule a été adaptée aux conditions régionales par les chercheurs du CIEH qui proposent une expression de la formule de CAQUOT propre à la zone sahélienne qui se présente comme suit :

$$Q(F) = \frac{1000 \times a}{9 \times 1.1^b} \times C \times I^{\frac{3b}{8}} A^{(0.95-0.2b)} \times \left(\frac{L}{\sqrt{A}}\right)^{-0.6b}$$

Q(F) : la crue de durée de retour *F* (m<sup>3</sup>/s);

C: coefficient de ruissellement (compris entre 0 et 1);

I: pente moyenne du réseau sur le plus long chemin hydraulique (m/m);

A: superficie du bassin versant (ha);

L: longueur du plus long chemin hydraulique

(hm). a et b sont les coefficients de Montana.

S'appuyant sur quelques valeurs expérimentales, les auteurs ont proposé la prise en compte

d'un facteur correctif qui tient compte de l'allongement du bassin et qui s'exprime comme suit :

$$F_a = M/2 \quad \text{avec } M = \frac{L}{\sqrt{A}}$$

### **2.1.2- Démarche de l'étude hydraulique**

Le dimensionnement hydraulique consiste à choisir un ouvrage approprié, à déterminer sa pente, à vérifier son débit capable, et à s'assurer de la compatibilité de la hauteur d'eau amont avec la hauteur d'eau admissible (profil en long, riverains, etc.). Pour vérifier cette compatibilité, il est essentiel de connaître le régime d'écoulement à l'aval de l'ouvrage ainsi que celui dans l'ouvrage.

- **Étapes de dimensionnement**

Le dimensionnement hydraulique du dalot permet de choisir les dimensions des ouvertures de l'ouvrage. Les sections choisies doivent être capables d'évacuer le débit du projet précédemment calculé. Il est également crucial de veiller à éviter le fonctionnement en charge et le risque d'affouillement dû au dépassement de la vitesse limite. Les étapes sont les suivantes :

- **Retenir le débit du projet  $Q_p$ :**

- Débit déterminé à partir de l'étude hydrologique.

- **Fixer le nombre de cellules  $N$  :**

- Nombre de cellules (ou ouvertures) de l'ouvrage.

- **Déterminer le débit évacué par cellule  $q$  :**

✚ On détermine le débit évacué par cellule  $q = \frac{Q_p}{N}$

✚ Fixer une vitesse limite  $V_{adm}$  ( $V_{adm}=3.50$  à  $4.00$  m/s pour notre étude)

✚ Fixer une hauteur du dalot  $D$

✚ Déterminer la largeur  $B$  du dalot par la relation suivante :

$$Q = V \times S = V \times B \times D$$

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

---

$$\text{On aura donc } \mathbf{B} = \frac{q}{V \times D}$$

Le dimensionnement se fait de la manière suivante.

**Etape 1 : Calcul de la profondeur d'eau en amont H1**

$$\text{On calcule le débit réduit } Q^* = \frac{q}{B \times D \sqrt{2 \times g \times D}}$$

Connaissant la valeur de  $Q^*$  on détermine la valeur de  $H^*$  en faisant une lecture sur la courbe de l'abaque des dalots rectangulaires à sortie libre (courbe A).

- La hauteur d'eau en amont est donc :  $H_1 = H^* \times D$
- Si  $H \leq 1,25D$  le calcul respecte les règles de dimensionnement, on garde alors les valeurs fixées ;
- Si  $H \geq 1,25D$  on recommence la procédure de calcul jusqu'à obtenir des valeurs Satisfaisantes.

**Etape 2 : Calcul de la pente critique  $I_c$**

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

Avec B et q, on calcule le débit réduit pour la pente critique en fonction de la formule.

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

g: accélération de la pesanteur = 9.81

B: largeur de l'ouvrage (en m)

Connaissant K le coefficient de rugosité, après le calcul de  $Q^*$ , on lira sur l'abaque (abaque figure 82, du document : « Hydraulique routière ») la valeur de la pente  $I_c^*$ .

On calcule la pente critique avec la formule suivante :

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

g: accélération de la pesanteur = 9.81

B: largeur de l'ouvrage (en m)

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

---

Ks: Coefficient de rugosité

Ic : Pente critique

**Etape 3 : Calcul de la vitesse de sortie V**

Il s'agira de calculer la vitesse d'entrée de l'eau dans l'ouvrage et de vérifier si celle-ci ne dépasse pas la vitesse limite  $V_{adm}$ .

On calculera le débit réduit  $Q^*$  à partir des formules proposées par Manning et en fonction de la pente longitudinale retenue :

$$Q^* = \frac{q}{K_s \times I_c^{\frac{1}{2}} \times B^{\frac{3}{8}}}$$

Avec:

g: accélération de la pesanteur = 9.81

B: largeur de l'ouvrage (en m)

Ks: Coefficient de rugosité

Ic : Pente critique

q : le débit traversant une ouverture

Avec cette valeur on lit sur l'abaque la valeur de  $V^*$  (abaque figure 84 pour un dalot du Document Hydraulique routière).

✚ On calcule la valeur de la vitesse recherchée  $V$  :

$$V = I^{\frac{1}{2}} \times B^{\frac{2}{3}} \times K \times V^*$$

✚ Si  $V < V_{adm}$ , le calcul est terminé sinon il faudra changer les paramètres d'ouverture B et D et reprendre entièrement la procédure de calculs.

### **2.1.2 Démarche de l'étude hydraulique**

Le dimensionnement hydraulique consiste à choisir un ouvrage approprié, à déterminer sa pente, à vérifier son débit capable, et à s'assurer de la compatibilité de la hauteur d'eau amont avec la hauteur d'eau admissible (profil en long, riverains, etc.). Pour vérifier cette compatibilité, il est essentiel de connaître le régime d'écoulement à l'aval de l'ouvrage ainsi que celui dans l'ouvrage.

### **Étapes de dimensionnement**

Le dimensionnement hydraulique du dalot nous permet de choisir les dimensions des

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

---

ouvertures de l'ouvrage. Les sections choisies doivent être capable d'évacuer le débit du projet précédemment calculé. Il faut également veiller à éviter le fonctionnement en charge et le risque d'affouillement par le dépassement de la vitesse limite.

Avant de passer aux étapes de calcul, il faut tout d'abord :

✚ Retenir le débit du projet  $Q_p$

Il s'agit du débit maximal prévu pour l'ouvrage, calculé lors de l'étude hydrologique en fonction des précipitations et des caractéristiques du bassin versant.

✚ On fixe le nombre de cellule  $N$

Il représente le nombre de sections parallèles dans le dalot pour répartir le débit total.

✚ On détermine le débit évacué par cellule  $q = \frac{Q_p}{N}$

C'est le débit que chaque cellule doit évacuer, calculé en divisant le débit total par le nombre de cellules.

✚ Fixer une vitesse limite  $V_{adm}$  ( $V_{adm}=3.50$  à  $4.00$  m/s pour notre étude)

La vitesse de l'eau à ne pas dépasser pour éviter l'érosion ou l'affouillement des structures en aval.

✚ Fixer une hauteur du dalot  $D$

La hauteur fixée pour chaque ouverture du dalot, influençant le choix de la largeur et la capacité de débit.

✚ Déterminer la largeur  $B$  du dalot par la relation suivante :

La largeur  $B$  de chaque ouverture du dalot, déterminée en fonction du débit par cellule, de la hauteur du dalot, et de la vitesse limite

$$Q = V \times S = V \times B \times D$$

$$\text{On aura donc } B = \frac{q}{V \times D}$$

Le dimensionnement se fait de la manière suivante.

### **Etape 1 : Calcul de la profondeur d'eau en amont H1**

On calcule le débit réduit  $Q^* = \frac{q}{B \times D \sqrt{2 \times g \times D}}$

Connaissant la valeur de  $Q^*$  on détermine la valeur de  $H^*$  en faisant une lecture sur la courbe de l'abaque des dalots rectangulaires à sortie libre (courbe A).

- La hauteur d'eau en amont est donc :  $H_1 = H^* \times D$
- Si  $H \leq 1,25D$  le calcul respecte les règles de dimensionnement, on garde alors les valeurs fixées ;
- Si  $H \geq 1,25D$  on recommence la procédure de calcul jusqu'à obtenir des valeurs

Satisfaisantes.

### **Etape 2 : Calcul de la pente critique Ic**

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

Avec B et q, on calcule le débit réduit pour la pente critique en fonction de la formule.

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

g: accélération de la pesanteur = 9.81

B: largeur de l'ouvrage (en m)

Connaissant K le coefficient de rugosité, après le calcul de  $Q^*$ , on lira sur l'abaque (abaque figure 82, du document : « Hydraulique routière ») la valeur de la pente  $I_c^*$ .

On calcule la pente critique avec la formule suivante :

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

g: accélération de la pesanteur = 9.81

B: largeur de l'ouvrage (en m)

Ks: Coefficient de rugosité

$I_c$  : Pente critique

### **Etape 3 : Calcul de la vitesse de sortie V**

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

---

Il s'agira de calculer la vitesse d'entrée de l'eau dans l'ouvrage et de vérifier si celle-ci ne dépasse pas la vitesse limite  $V_{adm}$ .

On calculera le débit réduit  $Q^*$  à partir des formules proposées par Manning et en fonction de la pente longitudinale retenue :

$$Q^* = \frac{q}{K_s \times I_c^{\frac{1}{2}} \times B^{\frac{8}{3}}}$$

Avec:

g: accélération de la pesanteur = 9.81

B: largeur de l'ouvrage (en m)

$K_s$ : Coefficient de rugosité

$I_c$  : Pente critique

q : le débit traversant une ouverture

Avec cette valeur on lit sur l'abaque la valeur de  $V^*$  (abaque figure 84 pour un dalot du Document Hydraulique routière).

✚ On calcule la valeur de la vitesse recherchée  $V$  :

$$V = I^{\frac{1}{2}} \times B^{\frac{2}{3}} \times K \times V$$

✚ Si  $V < V_{adm}$ , le calcul est terminé sinon il faudra changer les paramètres d'ouverture B et D et reprendre entièrement la procédure de calculs.

Ces étapes assurent que l'ouvrage hydraulique conçu est capable de gérer efficacement les débits prévus, tout en minimisant les risques d'érosion et de surcharge.

### **2.1.2.1- Dimensionnement hydraulique des ouvrages longitudinaux**

La formule utilisée pour le dimensionnement hydraulique des caniveaux est celle de Manning Strickler :

Avec :

$$Q = K_s \times S \times R_H^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

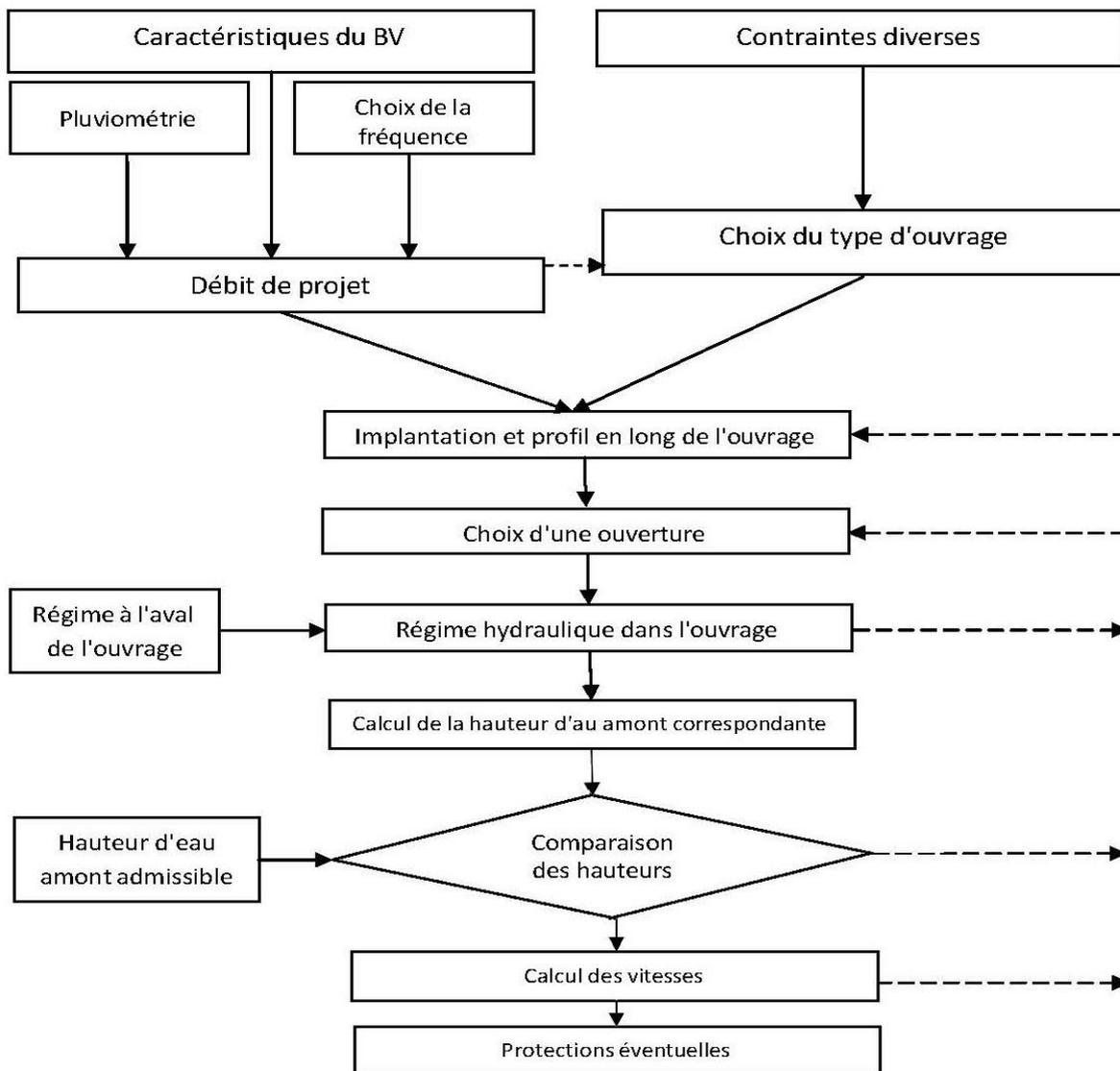
---

- $Q$  : Débit de projet, m<sup>3</sup>/s pouvant transiter dans le caniveau
- $K_s$  : Coefficient de rugosité de Manning.
- **Régime d'écoulement :**

Les régimes d'écoulement qui sont recherchés dans le réseau, sont des régimes normaux et uniformes. Les courants se doivent d'être fluviaux pendant le fonctionnement du système.

La figure suivante présente les grandes étapes d'une étude d'ouvrage hydraulique de franchissement ou de rétablissement des écoulements.

**Figure 9:** *Etapes successives d'étude de rétablissement de cours d'eau*



**Source :** Cours hydraulique routier, 2iE Anglebert Chabi BIAOU et al, page 38

### **2.1.3- Démarche de Dimensionnement structural d'un ouvrage de franchissement**

#### **1.1.3.1- Dimensionnement du dalot**

##### ▪ **Pré dimensionnement**

Le prédimensionnement d'un dalot consiste à déterminer l'épaisseur du tablier, du radier, et des piédroits. L'épaisseur du tablier est déterminée par la relation suivante :

$$e = \frac{l}{32} + 0.125 \text{ avec}$$

- **e** : épaisseur du tablier (m)
- **l** : la largeur de ouverture du dalot (m)

##### - **Descente des Charges sur l'Ouvrage**

La descente des charges prend en compte les charges permanentes et les charges d'exploitation.

- **Charges Permanentes**
  - Charges sur tablier
  - Charges sur radier
  - Poussée des terres sur piédroit
- **Charges d'Exploitation**
  - Surcharges routières Bc , Bt et Br
  - Surcharges de remblais sur piédroit

#### **Modélisation de l'Ouvrage**

La modélisation de l'ouvrage avec le logiciel Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014 permet de déterminer :

- Les moments fléchissants maximaux sur appuis et en travée.
- Les efforts tranchants maximaux.

## **Détermination du Ferrailage**

Cette étape consiste à déterminer les sections d'acier ( $A_s$ ) nécessaires pour chaque partie de l'ouvrage, notamment le tablier, le radier, les piédroits et les murs en ailes.

## **Présentation des Plans d'Exécution**

Les plans d'exécution du dalot doivent être préparés, incluant tous les détails nécessaires pour la construction.

## **Schéma de Pré-dimensionnement et Modélisation**

### **Étape 1 : Collecte des Données**

- **Mesures** : Recueillir les mesures de l'ouverture du dalot.
- **Charges** : Identifier les charges permanentes et d'exploitation.

### **Étape 2 : Calcul de l'Épaisseur du Tablier**

Utiliser la formule  $e = \frac{l}{32} + 0.125$  pour déterminer l'épaisseur du tablier.

### **Étape 3 : Descente des Charges**

Calculer les différentes charges agissant sur l'ouvrage :

- **Charges permanentes**
  - Poids propre des éléments (tablier, radier, piédroits).
  - Poussée des terres.
- **Charges d'exploitation**
  - Surcharges routières (normes applicables).
  - Surcharges de remblais.

### **Étape 4 : Modélisation et Analyse**

Utiliser Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014 pour modéliser l'ouvrage et analyser :

- Moments fléchissants.

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

- Efforts tranchants.

### **Étape 5 : Dimensionnement du Ferrailage**

Déterminer les sections d'acier ( $A_s$ ) nécessaires pour :

- Tablier
- Radier
- Piédroits
- Murs en ailes

### **Étape 6 : Plans d'Exécution**

Préparer et présenter les plans d'exécution détaillés, incluant :

- Dispositions des barres d'acier.
- Dimensions des éléments structuraux.
- Instructions de construction.

Le dimensionnement structurel d'un dalot comprend plusieurs étapes essentielles allant de la collecte des données, du prédimensionnement, de la descente des charges, à la modélisation et au calcul du ferrailage. La précision dans chaque étape assure la stabilité et la durabilité de l'ouvrage hydraulique.

**CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

### 3.1- Résultat et Discussion

#### 3.1.1- Dimensionnement Hydrologique et Hydraulique et structurale du dalot

##### 3.1.1.1- Dimensionnement Hydrologique et Hydraulique

###### 3.1.1.1.1- Pluviométrie :

#### Références Météorologiques

La station météorologique représentative pour la zone du projet est celle de Savè. Les données de cette station sont présentées dans les tableaux suivants :

**Tableau 12 : Localisation de la Station Synoptique de Savè**

Station	Coordonnées en degrés décimaux	Longueur de la série (années)
	Longitude (Est)	Latitude (Nord)
Station Synoptique de Savè	-	-

L'étude de la pluviométrie, basée sur les données recueillies de la station de Savè, a produit les tableaux suivants :

**Tableau 13 : Pluie Annuelle pour les Années Sèches (source : METEO BENIN)**

Station Synoptique de Savè	Période de retour T (ans)	2	5	10	20	50	100
Pluriannuelle (mm)		732.6	807.3	856.8	904.2	965.6	1011.7

**Tableau 14 : Pluie Annuelle pour les Années Normales (source : METEO BENIN)**

Station Synoptique de Savè	Période de retour T (ans)	2	5	10	20	50	100
Pluriannuelle (mm)		944.2	1180.2	1336.5	1486.5	1680.5	1826.0

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

**Tableau 15 : Pluie Annuelle pour les Années Humides (source : METEO BENIN)**

Station Synoptique de Savè	Période de retour T (ans)	2	5	10	20	50	100
Pluriannuelle (mm)		1176.7	1592.1	1867.2	2131.0	2472.5	2728.4

**Tableau 16 : Pluie Journalière Extrême (source : METEO BENIN)**

Station Synoptique de Savè	Période de retour T (ans)	2	5	10	20	50	100	200
Pjmax (mm)		58.4	97.9	124.1	149.2	181.7	206	230

**Note :** Les détails de calcul liés aux informations ci-dessus sont référencés dans les annexes de ce document.

### Choix de la Période de Retour

Le choix de la fréquence de pluie est déterminé par le coût d'investissement pour la réalisation du projet et les conséquences d'un débordement pour les usagers, les riverains ainsi que les ouvrages. En fonction de la taille des ouvrages, des informations reçues sur le terrain et conformément aux termes de référence, les périodes de retour suivantes sont retenues :

**Tableau 17 : Période de Retour des Pluies Retenues**

Désignation	Période de retour T
Collecte des eaux superficielles et rétablissement des petits et moyens écoulements naturels	Décennale (10 ans)

### Pluie Annuelle et Journalière pour le Projet

Après analyse des données pluviométriques, nous avons retenu pour une période de retour de dix (10) ans :

- Pluie annuelle moyenne : 1867,2 mm
- Pluie journalière décennale : 124,1 mm

### **3.1.1.1.2- Caractéristique physiques des bassins versants :**

Les paramètres physiques du bassin versant désignent un ensemble de caractéristiques physiographiques obtenues à partir de données cartographiques ou de mesures de terrain. Ces paramètres fournissent des informations essentielles sur le bassin versant. Les différents paramètres physiques de notre bassin versant sont :

1. **Superficie du BV (S) :**
  - Exprimée en km<sup>2</sup>.
2. **Périmètre du BV (P) :**
  - Exprimé en km.
3. **Longueur du Plus Long Cours d'Eau du BV (Lh) :**
  - Exprimée en km.
4. **Indice de Compacité (I<sub>comp</sub>) :**
  - Appelé également coefficient de forme, il correspond au rapport du périmètre du BV à celui d'un cercle de même superficie.

$$I_{comp} = 0,282 \times P \times S^{0,5} ;$$

ou P : est le périmètre stylisé du BV en km et S : est la superficie du BV en km<sup>2</sup>

#### **5. Le rectangle équivalent (L)**

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

Ou, L : est exprimé en km ;  $I_{comp}$  est l'indice de compacité, sans dimension ; S : est la superficie du BV, exprimée en km<sup>2</sup>

#### **6. L'indice global de pente ( $I_g$ ) en m/km:**

- Exprimé en m/km.
- Formule :  $I_g = \frac{\Delta H}{L}$
- Où  $\Delta H$  est la dénivelée entre les points correspondant à 5% et 95% de la courbe hypsométrique. En l'absence de courbes de niveau sur l'ensemble du bassin versant, l'indice global des pentes se résume à la pente longitudinale du terrain naturel. L est la longueur du rectangle équivalent, exprimée en km.

#### **7. La dénivelée spécifique (Ds) :**

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

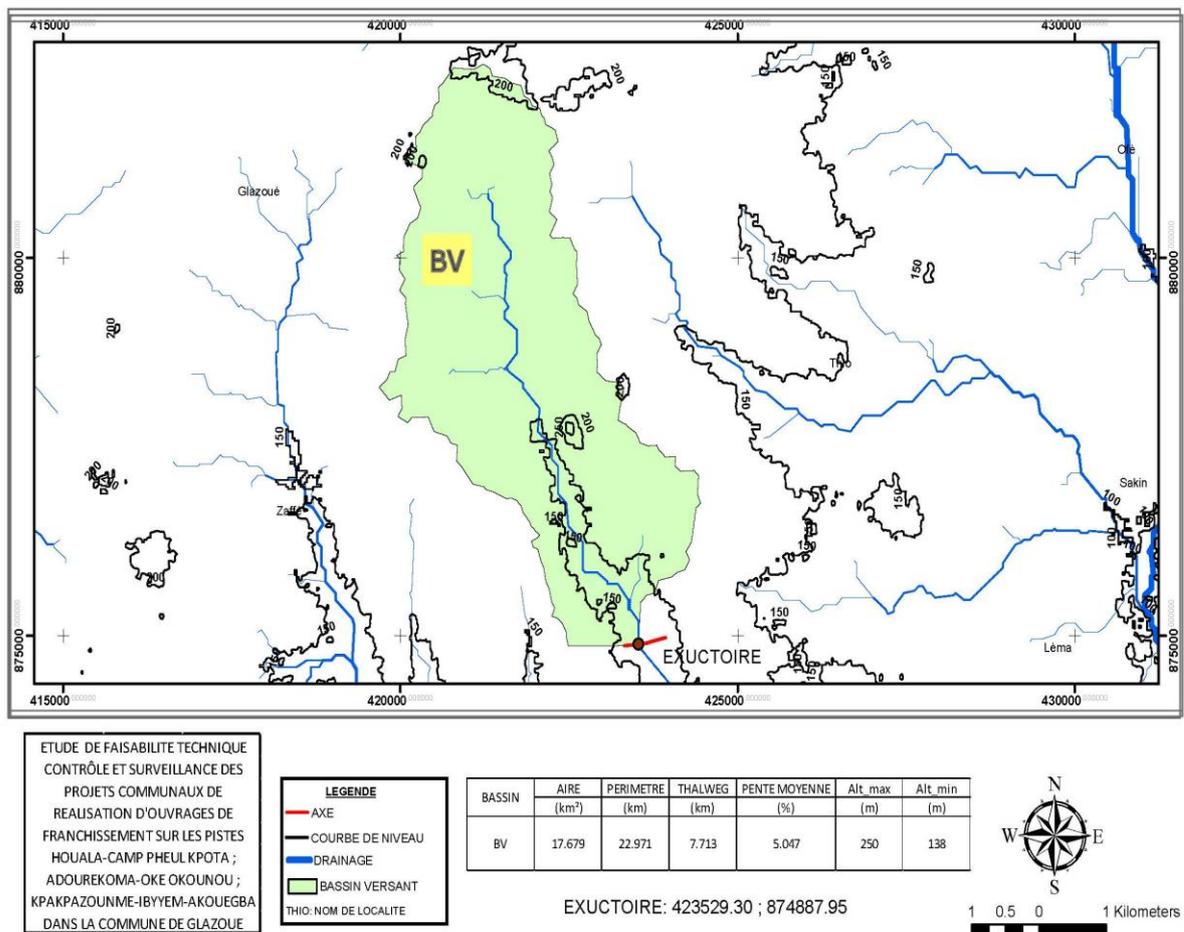
- Formule :  $D_s = I_g \times \sqrt{S}$
- C'est le produit de l'indice global de pente par la racine carrée de la superficie du BV. Elle s'exprime en mètres et est indépendante, en théorie, de l'aire du bassin. Différentes classes de relief peuvent être distinguées en fonction de  $D_s$ .

**Tableau 18 :** Classe des reliefs en fonction de la dénivelée spécifique ( $D_s$ )

Classe de Relief	$D_s$ (m)
Relief faible	$D_s < 50D$
Relief modéré	$50 \leq D_s < 100$
Relief fort	$D_s \geq 100$

**3.1.1.1.3 - Données topographique :**

Les résultats de calcul des différents paramètres physiques des bassins versant projeté sont présentés (voir figure 7)



**Figure 10 :** Carte des bassins versants

Source : Traitement de données, janvier 2024

### **3.2- Estimation des débits de projet :**

Dans cette section, nous avons utilisé plusieurs méthodes reconnues pour estimer le débit de projet, en considérant une période de retour de 10 ans. Les méthodes utilisées sont la Méthode ORSTOM et la Méthode CIEH, adaptées aux caractéristiques de notre bassin versant.

**Tableau 19:** Choix des méthodes de détermination des débits

	OH-03
Superficie Bassin versant	17,679
Méthode Rationnelle	Non
Méthode ORSTOM	Oui
Méthode CIEH	Oui

**Notre bassin étant supérieur à 4km<sup>2</sup> alors nous avons utilisé les méthodes Méthode ORSTOM et la Méthode CIEH**

#### **Choix de la période de retour**

Le choix de la période de retour est crucial pour déterminer le niveau de protection contre les crues. Il prend en compte le degré de risque admis, le coût du projet et la durée de vie projetée. Pour ce projet, une période de retour de 10 ans a été sélectionnée. Cela signifie que les débits de crue ont été calculés pour une crue ayant une probabilité de survenance d'environ une fois tous les 10 ans.

#### **Méthodes de calcul des débits de crue**

Pour estimer les débits de crue, plusieurs méthodes sont utilisées en Afrique de l'Ouest, chacune adaptée à différentes gammes de superficie de bassins versants :

##### **1. Méthode rationnelle :**

- Utilisée pour les bassins versants de superficie inférieure ou égale à 4 km<sup>2</sup>.
- Simple et rapide à appliquer, basée sur l'hypothèse que le débit de crue est proportionnel à l'intensité de la pluie et à la superficie du bassin.

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

**2. Méthode ORSTOM (Rodier-Auvray) :**

- Utilisée pour les bassins versants de superficie comprise entre 0,2 et 120 km<sup>2</sup>.
- Calcul plus détaillé et précis, prenant en compte des paramètres comme la pluviométrie, la pente, la surface du bassin et d'autres caractéristiques physiques.

**3. Méthode CIEH :**

- Utilisée pour les bassins versants de superficie comprise entre 2 et 2000 km<sup>2</sup>.
- Méthode complexe prenant en compte plusieurs paramètres hydrologiques comme la superficie, l'indice de pente, les paramètres de pluviométrie, etc.
- Permet une analyse approfondie des conditions hydrologiques locales.

La méthode CIEH pour les bassins versants de superficie comprise entre 2 et 2000 km<sup>2</sup> (voire plus) avec l'utilisation en particulier des paramètres S, Ig, Kr10, Pan et Pm10.

**3.2.1- Débit projet par la méthode ORSTOM**

	<b>OH-03</b>
S (surface du BV)	17,679
Pj10 (Pluie journalière période 10 ans)	124,100
He Dénivelée (m)	100,800
Lre Longueur du rectangle équivalent (Km)	7,713
Ig (indice global de pente)	13,060
Tb (Temps de base)	297,450
K (coef de pointe)	2,300
Kr10 argile	14,790
A (coef d'abattement)	0,926
<b>Q10 (débit ORSTOM)</b>	<b>67,460</b>

**Tableau20 :** Détermination des débits par la méthode ORSTOM

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

**3.2.2- Débit projet par la méthode CIEH**

		<b>OH-03</b>
<b>Méthode CIEH</b>	CIEH 1	1,06
	CIEH 2	1,34
	CIEH 3	14,93

**Tableau21 :** Détermination des débits par la méthode CIEH

**3.2.3- Débits projet Retenue :**

		<b>OH-03</b>
Méthode CIEH	CIEH 1	1,06
	CIEH 2	1,34
	CIEH 3	14,93
Méthode ORSTOM		<b>67,46</b>
Débit projet retenue		<b>67,46</b>

**Tableau22 :** débit projet retenue

En comparant ces résultats avec les données relevées sur le terrain, nous avons constaté que les débits les plus proches de la réalité du terrain sont ceux obtenus par la méthode ORSTOM. Nous utiliserons donc ces débits projetés pour dimensionner les ouvertures hydrauliques des dalots.

**3.3- Résultat de Dimensionnement Hydraulique de l'ouvrage :**

Le niveau d'aménagement de la route exige sa mise hors d'eau. A ce titre, l'ouvrages de franchissement projeté est un dalot qui assurent un écoulement en toutes circonstances. Les résultats de dimensionnement hydraulique sont présentés dans le tableau.

<b>VERIFICATION HYDRAULIQUE</b>		
<b>BASSIN VERSANT (BV)</b>		
<b>Débit de projet</b>	<b>QProjet (m<sup>3</sup>/s)</b>	67,46
<b>Nombre de cellule</b>	N	3
<b>Débit d'une cellule</b>	q (m <sup>3</sup> /s)	22,49
<b>Pesanteur</b>	g (m <sup>2</sup> /s)	9,81
<b>Vitesse admissible</b>	Vadm (m/s)	3,8

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

<b>Hauteur du dalot</b>	D(m)	<b>3</b>
<b>Largeur du dalot</b>	B(m)	1,97
<b>Largeur selon l'eqt° de continuité</b>	L(m)	
<b>Largeur Théorique d'une cellule</b>	B(m)	
<b>Section</b>	S (m <sup>2</sup> )	5,918
<b>Largeur Réel d'une cellule</b>	B(m)	<b>3</b>
1. calcul de la profondeur d'eau en amont		
<b>Débit réduit</b>	Q*	0,50
<i>Hauteur réduite (abaque 1 annexe2)</i>	H*	1,1
<b>Profondeur d'eau en amont</b>	H1(m)	3,3
<b>Vérification de H1</b>	H1(m) < 1,25D	<b>vérifié</b>
2. calcul de la pente critique		
<b>Débit réduit</b>	Q*(m <sup>3</sup> /s)	0,46
<i>pente critique réduite (abaque 2 annexe2)</i>	Ic*	3,4
<b>Coefficient</b>	K	70
<b>pente critique</b>	Ic	0,0047
3. calcul de la vitesse de sortie		
<b>Débit réduit</b>	Q*(m <sup>3</sup> /s)	0,25
<i>Vitesse réduite (abaque 3 annexe2)</i>	V*	0,380
<b>Vitesse de sortie</b>	V (m/s)	3,78
<b>Vérification de la vitesse</b>	V < Vadm	<b>Vérifié</b>
<b>CONCLUSION : Projection d'un dalot 3 x 3,00 x 3,00</b>		

**Tableau23** : Vérification Hydraulique

### **3.4- DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DU DALOT 3x3,00x3,00**

#### **3.4.1- DESCRIPTION GENERAL DE L'OUVRAGE**

A la lecture du profil en travers type, l'ouvrage présente les particularités suivantes :

- Longueur de l'ouvrage :  $b' = 10.20 \text{ m}$  ;
- Hauteur de l'ouvrage :  $H = 3.60 \text{ m}$  ;
- Largeur roulable :  $L_r = 7.00 \text{ m}$  ;
- Largeur chargeable :  $L_{ch} = 7.00 \text{ m}$  ;
- Nombre de voies :  $N_v = 2$  ;  $L_R \geq 7m$
- Guides roues en béton armé de section :  $0.25m \times 0.50m$
- Pont de 1<sup>ère</sup> classe ;
- Nombre de voies à charger :  $N = 2$  ;
- Système A(l), n'est pas pris en compte ;
- Coefficient de pondération :  $bc = 1.1$  ;
- Coefficient de pondération :  $bt = 1$  ;
- Ouvrage de tête (éventuel), Longueur de mur en aile :  $L_m = 3.20 \text{ m}$  ;
- Angle d'ouverture d'ouvrage de tête amont :  $45^\circ$  ;
- Angle d'ouverture d'ouvrage de tête aval :  $30^\circ$ .

Les épaisseurs des différentes couches de chaussée, de trottoirs et de remblais sont présentées comme suit :

Particularités des Matériaux			
Couches	Matériaux	Epaisseur (cm)	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )
<b>Remblai</b>			
	Technique	-	20

Les angles de diffusion des charges à travers les matériaux de chaussée, et du tablier sont les suivants :

Angles de diffusions dans les matériaux	
Matériaux	Angle de diffusion (°)
Couches de chaussée, bitume et assimilés	37
Remblai	30

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

Béton	45
-------	----

**3.4.2- Caractéristiques géotechniques du sol porteur et des remblais**

Le remblai sur la traverse supérieure est défini par son poids volumique. Le paramètre de Marston ( $r$ ) est pris égal à 0.7, valeur usuelle pour un cadre rigide sur sol autre que rocher et compressible. Les caractéristiques du sol de fondation et des remblais sont ainsi présentées :

Caractéristiques du sol de fondation et du matériau de remblais		
Caractéristiques	Symbole	Valeur
<b>Remblais</b>		
Poids spécifique	Y	20 kN/m <sup>3</sup>
Poids volumique saturé	Y <sub>sat</sub>	22 kN/m <sup>3</sup>
Angle de frottement interne drainé	'	30°
Cohésion drainée	c'	0
Coefficient de poussée maximal	K <sub>max</sub>	0.50
Coefficient de poussée minimal	K <sub>min</sub>	0.25
<b>Sol de fondation</b>		
Poids spécifique	y <sub>1</sub>	20 kN/m <sup>3</sup>
Poids volumique saturé	ysat <sub>1</sub>	22 kN/m <sup>3</sup>
Angle de frottement interne drainé	' <sub>1</sub>	30°
Cohésion drainée	c' <sub>1</sub>	0
Module de réaction du sol support	K <sub>z</sub>	10 000 kPa/m
Poids volumique de l'eau	Y <sub>w</sub>	10 kN/m <sup>3</sup>

Les essais géotechniques sur le sol de fondation permettent d'évaluer le module d'élasticité du sol porteur. Le radier est en effet une dalle posée sur un sol élastique. Le sol de fondation est du sable de coefficient d'élasticité différé de réaction ( $E_{sol}$ ) comprise entre 100 et 150 MPa. Le module d'Young ou module de réaction du sol ( $K_z$ ) est fixée à une valeur minimale 10 MPa.

**3.4.3- HYPOTHESES DE CALCUL**

**1.1 Environnement – classe d'exposition**

L'ouvrage sera réalisé dans un milieu où il sera exposé aux intempéries sans agressivité particulière.

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

Selon la norme NF P 18-305, la classe d'exposition est 2a. La fissuration est préjudiciable.

**3.4.3.1- Caractéristiques des matériaux**

<b>Matériau Béton</b>			
	Désignation	Symbole	Valeur considérée
Classe	Classe de résistance de béton	C	C25/30
Propriétés mécaniques et physiques	Résistance caractéristique à la compression du Béton à 28 jours	fc28	25 MPa
	Résistance caractéristique à la traction du béton à 28 jours	ft28	2.1 MPa
	Module de déformation longitudinale Instantanée ou à court terme du béton	Eij	32 164,195 MPa
	Module de déformation longitudinale différée ou à long terme du béton	Evj	10 818,866 MPa
	Poids volumique du béton	y	25 kN/m <sup>3</sup>
	Coefficient de dilatation thermique		10 <sup>-5</sup> m/m/°C
	Coefficient de poisson ; pas de fissure à l'ELS	u	0,2
Contraintes normales	Contraintes limite de calcul du béton à l'ELU, Combinaisons fondamentales	fbu	14,167 MPa
	Contraintes limite de calcul du béton à l'ELS	crbc	15 MPa
Contraintes Tangentielle	Contrainte limite du béton à l'ELU	Tlim	2,5 MPa

<b>Matériau Acier</b>			
	Désignation	Symbole	Valeur considérée
Nuance	Nuance de l'acier	FeE	FeE400
Propriétés mécaniques, physiques et thermiques	Contrainte limite d'élasticité de l'acier	fe	400 MPa
	Module de déformation longitudinal	Es	200 000 MPa
	Coefficient de dilatation thermique		10 <sup>-5</sup> m/m/°C
	Coefficient d'adhérence de fissuration	T	1.6
	Coefficient d'adhérence de scellement	l/fs	1.5
	Poids volumique	y	78,5 kN/m <sup>3</sup>
Contraintes admissibles	Contraintes limite à l'ELU, combinaisons Fondamentales	fsu	347,826 MPa
	Contraintes limite de calcul à l'ELS cas FP	crs1	201,633 MPa
	Contraintes limite de calcul à l'ELS cas FTP	crs2	161,307 MPa
	Contrainte limite d'adhérence	Ts	2,835 MPa
Enrobage		c	5 cm

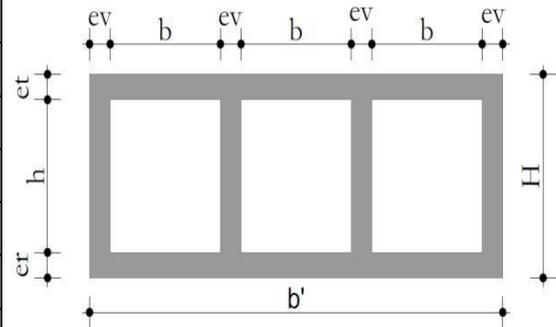
**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

**3.4.4- DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE**

**3.4.4.1- Géométrie de l'ouvrage**

Les dimensions de l'ouvrage se présentent comme suit

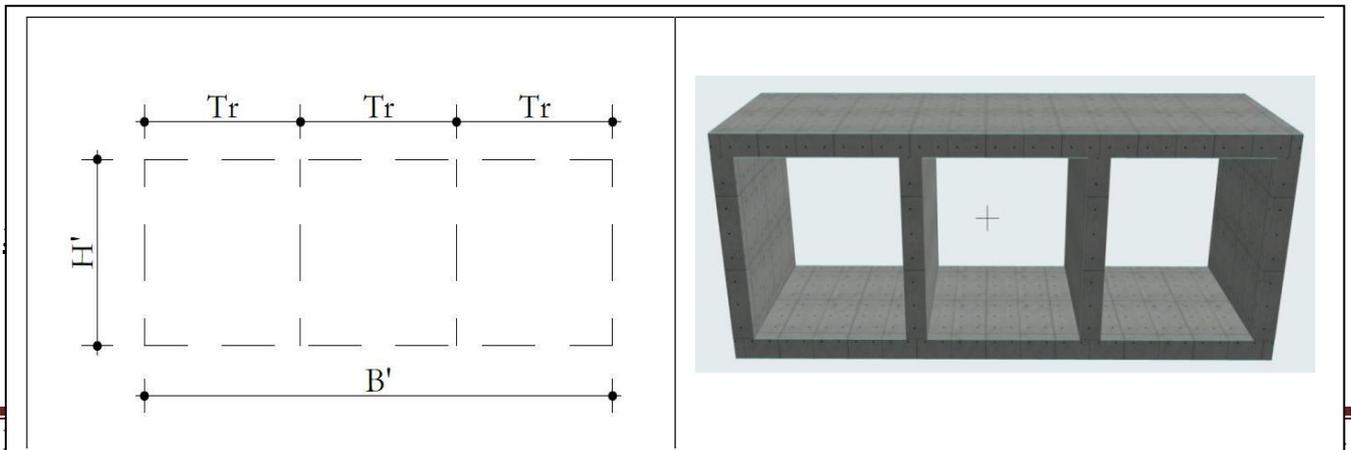
Dimensions de l'ouvrage		
Désignation	Symbole	Valeur (m)
Largeur d'une cellule	b	3.00
Hauteur d'une cellule	h	3.00
Epaisseur tablier	$e_t$	0.30
Epaisseur voile	$e_v$	0.30
Epaisseur radier	$e_r$	0.30
Nombre de cellules	$N_c$	3
Hauteur totale	H	3.60
Longueur totale	$b'$	10.20



**3.4.4.2- Modèle de calcul**

L'ouvrage sera modélisé comme un portique plan dans le logiciel Robot Structural Analysis. Il sera calculé pour un (01) mètre linéaire. Les dimensions du modèle de calcul se présentent comme suit :

Dimensions du modèle		
Désignation cellulaire	Symbole	Valeur (m)
Longueur entre-axes	$Tr$	3.30
Hauteur entre-axes	$H'$	3.30
Longueur totale entre-axes	$B'$	9.90



**3.4.4.3.1- Charges permanentes**

➤ **Poids propre de la structure (Pp)**

Le poids propre des éléments de structure est pris en compte par le logiciel.

➤ **Sur le tablier**

- Poids propre du tablier (Pp) :  $e_t \times \rho_b = 0,30 \times 25 = 7,5 \text{KN/m}^2$
- Poids propre guides roues :  $\frac{2 \times e \times h \times l \times \rho_b}{4,75 \times 7,00} = \frac{2 \times 0,30 \times 0,5 \times 7,0 \times 25}{7,00 \times 7,00} = 1,07 \text{KN/m}^2$

-----

**Charges permanente sur le tablier : = 8,57KN/m<sup>2</sup>** Elle est prise en compte par le Logiciel

➤ **Sur le radier de fondation**

- Poids propre tablier = 8,57 KN / m<sup>2</sup> Prise en compte par le Logiciel
- Poussé Hydrostatique = 3,00 x 10 = 30 KN / m<sup>2</sup>
- Piédroits = (3,00 x 0,3 x 25 x 4) / 10,2 = 8,82KN / m<sup>2</sup> Prise en compte par le Logiciel

-----

**Charges permanente sur le radier : = 47,39 KN/m<sup>2</sup>**

➤ **Sur les piédroits**

- **Poussée des terres au niveau du tablier**

$$\gamma_{rb} \times (e_{rb} + e_t) \times K_a$$

$$0,15 \times 20 \times 0,33 = 0,99 \text{ KN / m}^2$$

**P1 = 0,99KN/m<sup>2</sup>**

- **Poussée des terres au niveau du radier**

$$\gamma_{rb} \times (e_{rb} + e_t + h_p + e_r) \times K_a$$

$$3,45 \times 20 \times 0,33 = 22,77 \text{ daN / m}^2$$

**P2 = 22,77KN/m<sup>2</sup>**

**3.4.4.3.2- Surcharges routières**

**Le sous-système Bc**

Ce sous-système est essentiellement composé de camions d'environ 300 KN de poids individuel. Sa disposition est de sorte à avoir autant de files de deux camions au maximum que des voies de circulation. Il est affecté d'un coefficient de pondération Bc (Dégressivité transversale) fonction de la classe du pont et du nombre des voies chargées.

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

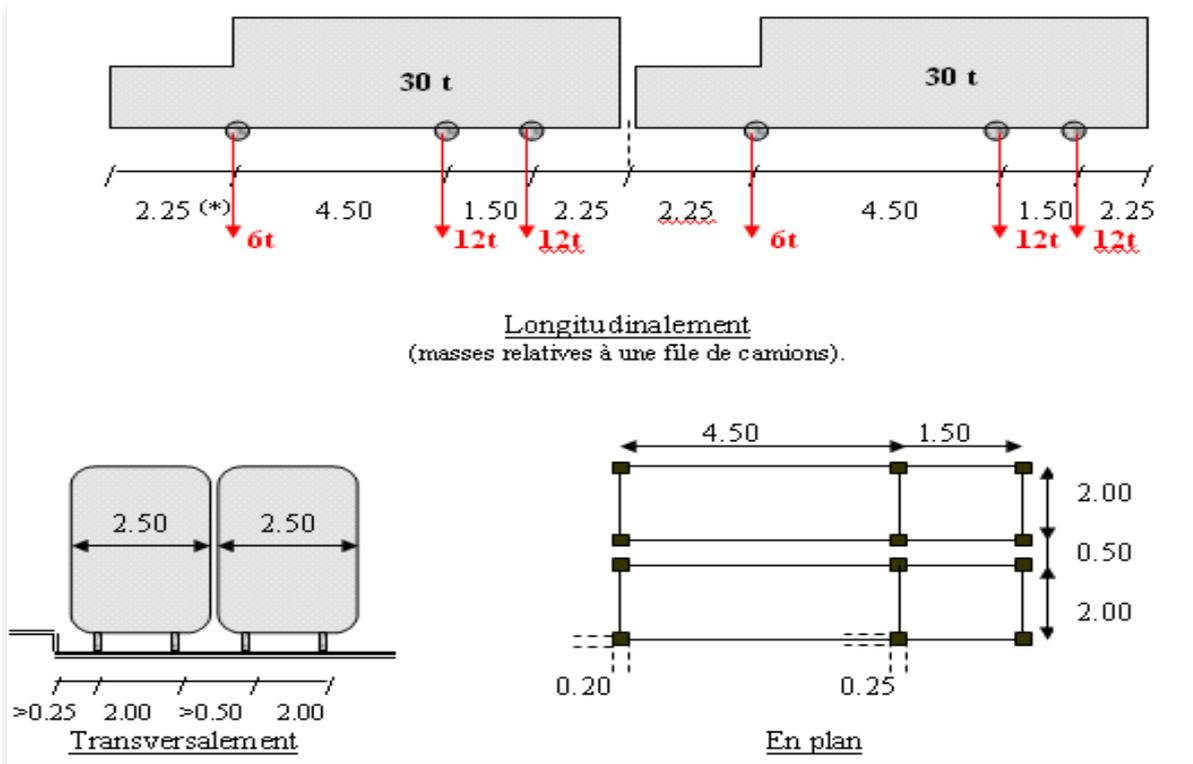


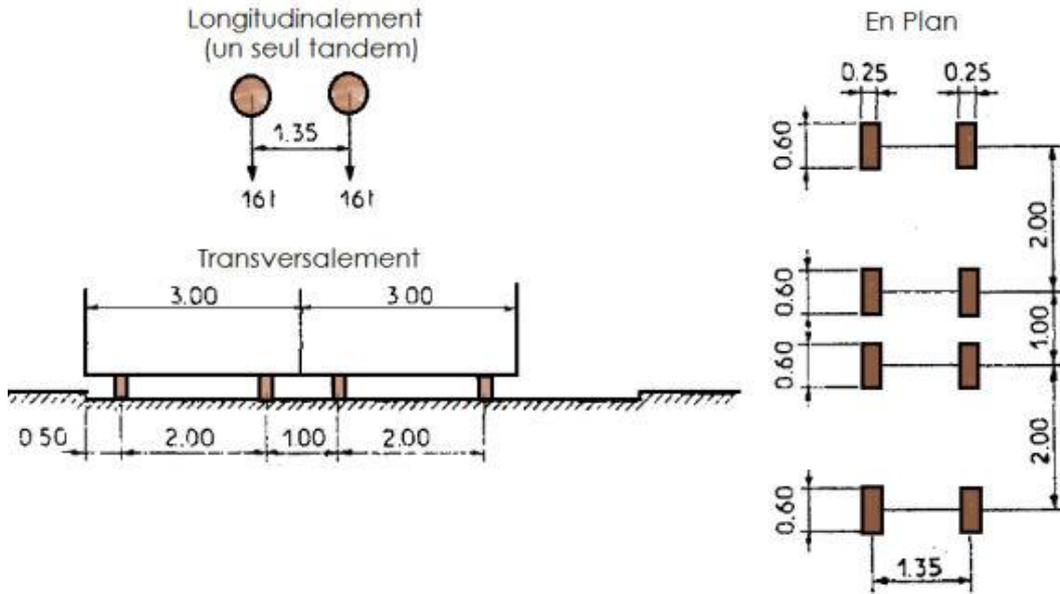
Figure... : Vue en plan de 2 camions Bc côte à côte

Dans le cas des surcharges routières du système Bc, le cas le plus défavorable est celui où l'on se retrouve avec les huit roues de nos deux files de camions sur la même travée. Pour le calcul de nos différents moments, nous allons transformer ces charges les plus défavorables en charge de surface. Le schéma ci-dessous nous montre une disposition des roues des deux files de camions sur une travée.

**Système Bt**

Le tandem du système Bt se compose de deux (02) essieux de 160 KN chacun, soit 4 roues de 80 KN chacune. Le nombre de camions est limité à deux (02) dans le sens transversal et ne peut s'appliquer qu'au pont de classe I et II. Le cas le plus défavorable est lorsque nous avons une file de 02 camions disposée sur une travée dans le sens transversal.

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**



Le groupe de 4 roues arrière des deux camions Bc accolés donne un impact rectangulaire sur la fibre Extrême tendue du tablier de côté  $l_x$  et  $l_y$ , en suivant une répartition à  $35^\circ$ .

$$l_x = 0,25 + 2 \times 1,46 \times 0,70 + 0,20 + 1,50 = 3,99 \text{ m}$$

$$l_y = 4,5 + 0,25 + (2 \times 1,46) \times 0,70 + 0,20 = 6,99 \text{ m}$$

**Système Bt (deux files de camions)**

Le groupe de 8 roues arrière des deux camions Bt accolés donne un impact rectangulaire sur la fibre extrême tendue du tablier de côté  $l_x$  et  $l_y$ , en suivant une répartition à  $35^\circ$  dans le remblai et  $45^\circ$  dans le Tablier,

$$l_x = 0,25 + 2 \times 1,46 \times 0,70 + 0,2 + 1,35 = 3,84 \text{ m}$$

$$l_y = 5 + 0,6 + 2 \times 1,46 \times 0,70 + 0,20 = 7,84 \text{ m}$$

**Système Br (une roue isolée)**

Disposons une roue isolée sur le Tablier qui donne un impact rectangulaire sur la fibre extrêmes tendue du tablier de côté  $l_x$  et  $l_y$ , en suivant une répartition à  $35^\circ$  et à  $45^\circ$  dans le tablier

$$l_x = 0,3 + 2 \times 1,46 \times 0,70 + 0,20 = 2,54 \text{ m}$$

$$l_y = 0,6 + 2 \times 1,46 \times 0,70 + 0,2 = 2,84 \text{ m}$$

**Surcharge du système B**

**Système Bc**

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

---

pont de première classe

2 files de camions

$$bc = 1,1$$

$$8 \times 60 / (3,99 \times 6,99) \times 1,10 = \mathbf{18,89KN/m^2}$$

**Système Bt**

pont de première classe

$$bt = 1,0$$

$$8 \times 80 / (3,84 \times 7,84) \times 1,00 = \mathbf{21,22KN/m^2}$$

Système Br ( une roue isolée )

$$1 \times 100 / (2,54 \times 2,84) \times 1,00 = \mathbf{13,81 \quad KN/m^2}$$

Calcul du coefficient de majoration dynamique

$$d = 1 + ( 0,4 / (1 + (0,2 \times L))) + (0,6 / (1 + (4 \times G / S)))$$

Avec

$$L = 10,20 \text{ m}$$

$$G = 12,50 \times 10,20 \times 10,20 = 1\,300,50\text{KN}$$

$$Q = 80 \times 8 = 640\text{KN}$$

d'où

$$d = 1,20$$

Les surcharges du sous-système Bt étant les plus défavorable, nous les retiendrons pour le calcul du dalot

Système défavorable

$$\mathbf{Bt = 21,22 \times 1,20 = 25,41KN/m^2}$$

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

**Récapitulatif Surcharges routières et calcul du coefficient de majoration dynamique**

Système	Description	Dimensions	Surcharge (KN/m <sup>2</sup> )
<b>Bc</b>	Le groupe de 4 roues arrière des deux camions Bc accolés donne un impact rectangulaire sur la fibre extrême tendue du tablier de côté lx et ly, en suivant une répartition à 35°.	lx = 3,99 m, ly = 6,99 m	<b>18,89</b> (bc = 1,1)
<b>Bt</b>	Le groupe de 8 roues arrière des deux camions Bt accolés donne un impact rectangulaire sur la fibre extrême tendue du tablier de côté lx et ly, en suivant une répartition à 35° dans le remblai et 45° dans le tablier.	lx = 3,84 m, ly = 7,84 m	<b>25,41</b> (bt = 1,0)
<b>Br</b>	Une roue isolée sur le tablier donne un impact rectangulaire sur la fibre extrême tendue du tablier de côté lx et ly, en suivant une répartition à 35° et à 45° dans le tablier.	lx = 2,54 m, ly = 2,84 m	<b>13,81</b> (Coefficient de 1,0)

**Poussée hydrostatique sur les piédroits**

Tête piédroit

$$0 \times 10,00 = 0 \quad \text{KN/m}^2$$

tête piédroit

$$3 \times 10,00 = 30 \quad \text{KN/m}^2$$

Surcharge remblais sur piédroits

$$0,33 \times 25,4075949 = 8,384506317 < 10$$

Prenons **10KN/m<sup>2</sup>** comme recommandé a l'article 8 du fascicule 61 titre II

*Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :  
Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

**RECAPITULATIF DES CHARGES**

Type de charge	Symbole	Valeur (KN/m <sup>2</sup> )
<b>Charges permanentes</b>		
Charge sur tablier	Ct	<b>8,57</b>
Poussée des terres	Pt	<b>0,99</b>
<b>Charges variables</b>		
Surcharge du système B	B	<b>25,41</b>
Poussée hydrostatique sur radier	Phr	<b>30</b>
Poussée hydrostatique sur piédroit	Php	<b>0</b>
Surcharge remblais sur piédroits	Srp	<b>10</b>

**3.4.4.4 - Combinaison Des Charges possibles**

**Combinaisons ELU (États Limites Ultimes)**

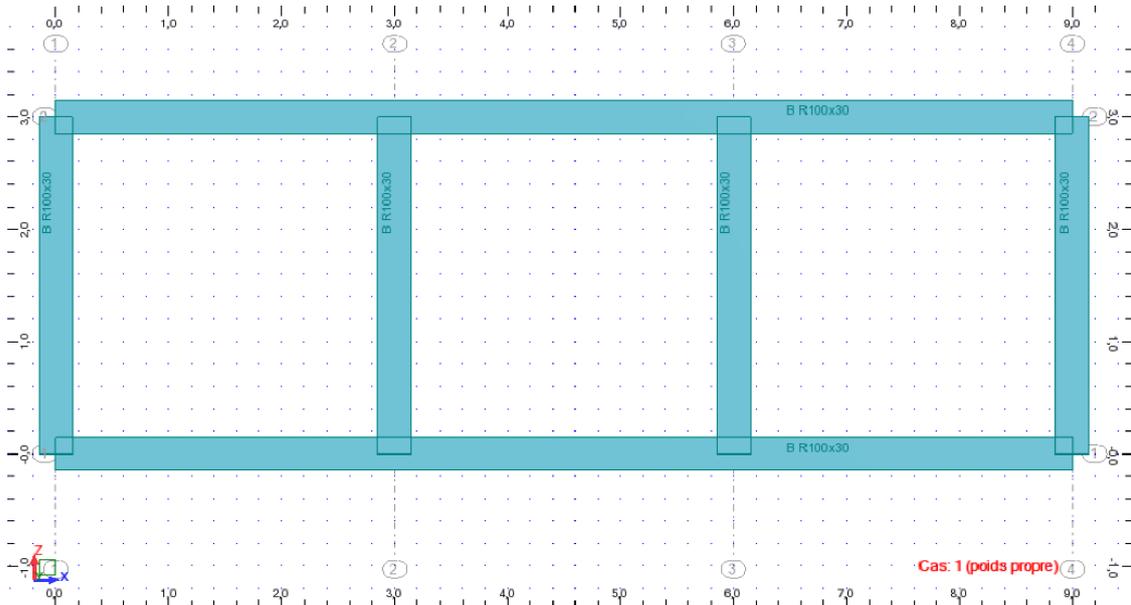
Combinaison ELU	Formule	Description
<b>ELU1</b>	$1,35 \times (Ct + Pt)$	Combinaison de base avec coefficients partiels
<b>ELU2</b>	$1,35 \times (Ct + Pt) + 1,07 \times 1,5 \times B$	Charge variable amplifiée
<b>ELU3</b>	$1,35 \times (Ct + Pt) + 1,5 \times Srp$	Surcharge remblai amplifiée
<b>ELU4</b>	$1,35 \times (Ct + Pt) + 1,5 \times (Phr + Php)$	Poussée hydrostatique amplifiée
<b>ELU5</b>	$1,35 \times (Ct + Pt) + 1,5 \times (Phr + Php) + 1,07 \times 1,5 \times B$	Poussée hydrostatique et charge variable amplifiées
<b>ELU6</b>	$1,35 \times (Ct + Pt) + 1,5 \times (Phr + Php + Srp)$	Poussée hydrostatique et surcharge remblai amplifiées
<b>ELU7</b>	$1,35 \times (Ct + Pt) + 1,5 \times Srp + 1,07 \times 1,5 \times B$	Surcharge remblai et charge variable amplifiées
<b>ELU8</b>	$1,35 \times (Ct + Pt) + 1,5 \times (Phr + Php + Srp) + 1,07 \times 1,5 \times B$	Combinée de toutes les charges amplifiées

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

**Combinaisons ELS (États Limites de Service)**

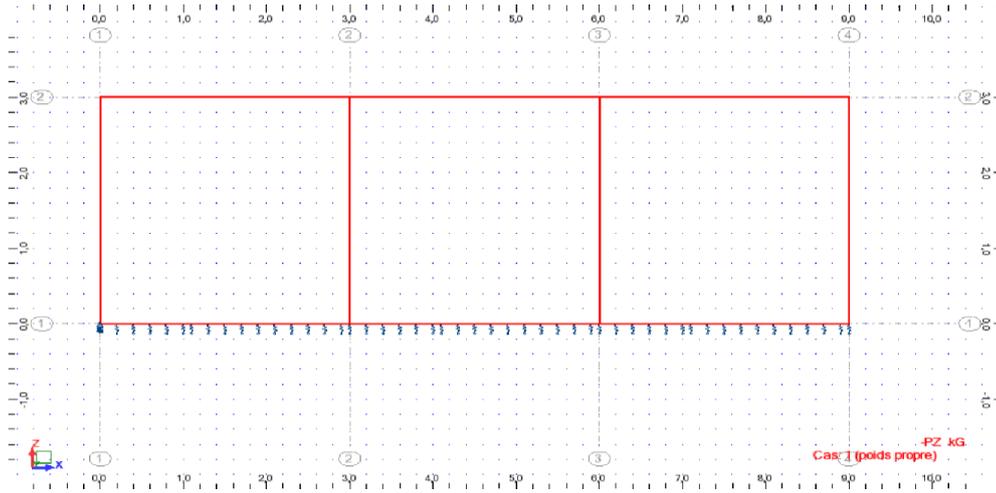
Combinaison ELS	Formule	Description
ELS1	$Ct+PtCt$	Combinaison de base sans amplification
ELS2	$Ct+Pt+1,2 \times B$	Charge variable amplifiée pour l'état de service
ELS3	$Ct+Pt+Srp$	Surcharge remblai pour l'état de service
ELS4	$Ct+Pt+(Phr+Php)$	Poussée hydrostatique pour l'état de service
ELS5	$Ct+Pt+(Phr+Php)+1,2 \times B$	Poussée hydrostatique et charge variable amplifiées pour l'état de service
ELS6	$Ct+Pt+(Phr+Php+Srp)$	Poussée hydrostatique et surcharge remblai pour l'état de service
ELS7	$Ct+Pt+Srp+1,2 \times B$	Surcharge remblai et charge variable amplifiées pour l'état de service
ELS8	$Ct+Pt+(Phr+Php+Srp) + 1,2 \times B$	Combinée de toutes les charges amplifiées pour l'état de service

**3.4.4.5- Modélisation de l'Ouvrages**



section des barres

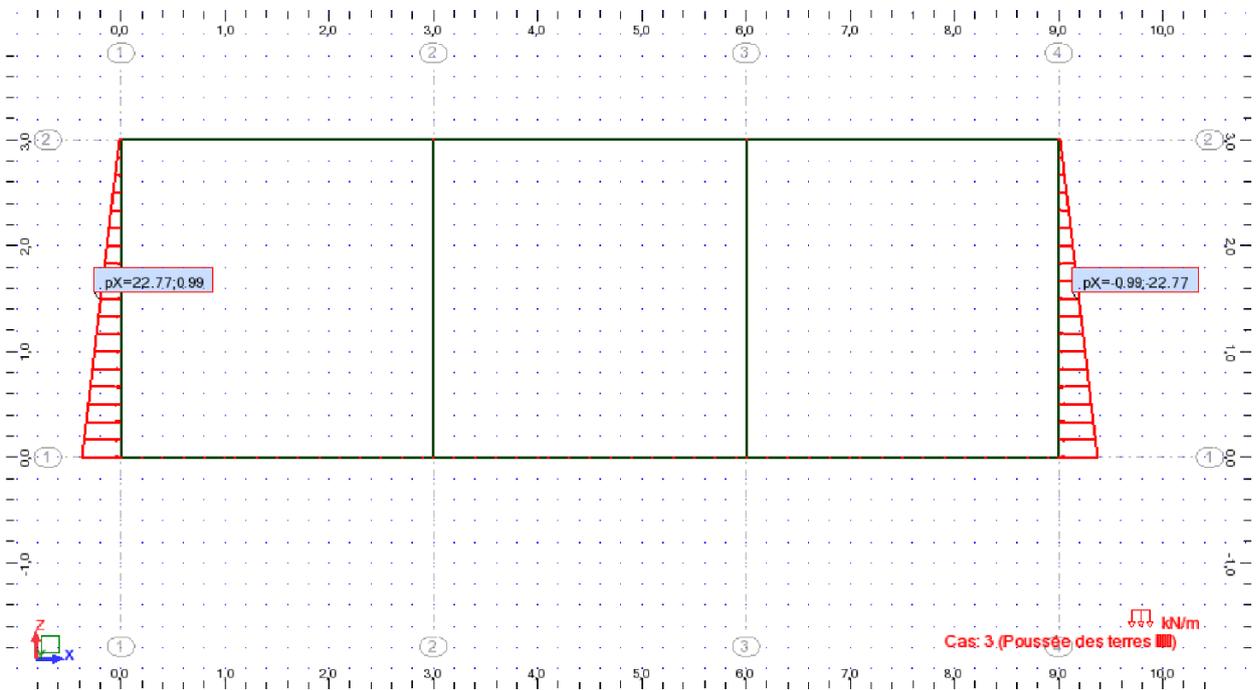
**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**



**poids propre (Pp)**

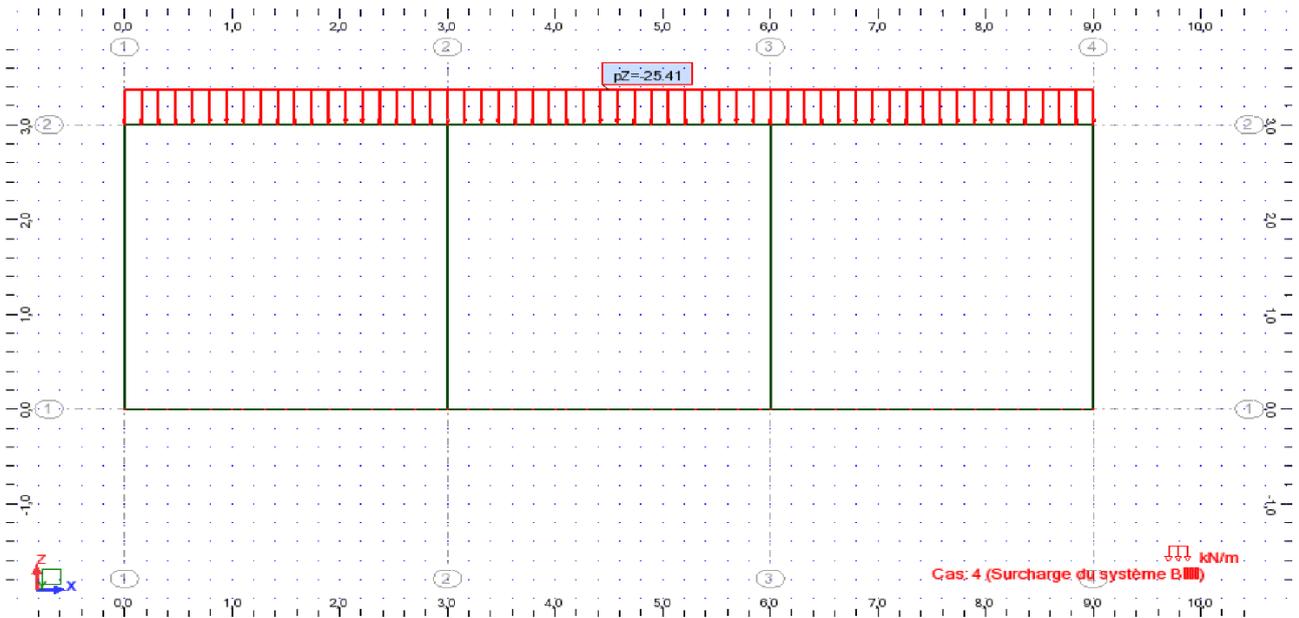
**Poussée des terres sur les voiles**

La poussée des terres est la contrainte horizontale provoquée par les remblais. Elle est triangulaire et sa valeur augmente en profondeur. La charge triangulaire débute depuis la ligne rouge. Pour cela, sur l'ouvrage il est une charge trapézoïdale. Elle est appliquée en enveloppe pour deux situations extrêmes :



**Poussée des terres (Pt)**

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

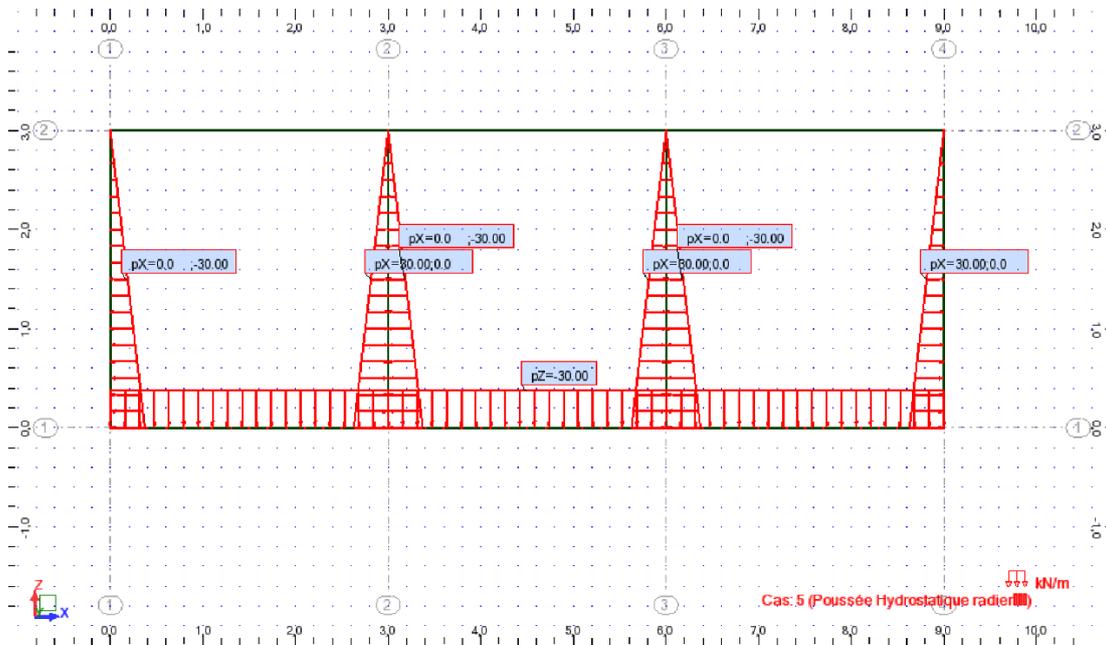


**Surcharge du système B (B)**

**Poussée hydrostatique (Ph)**

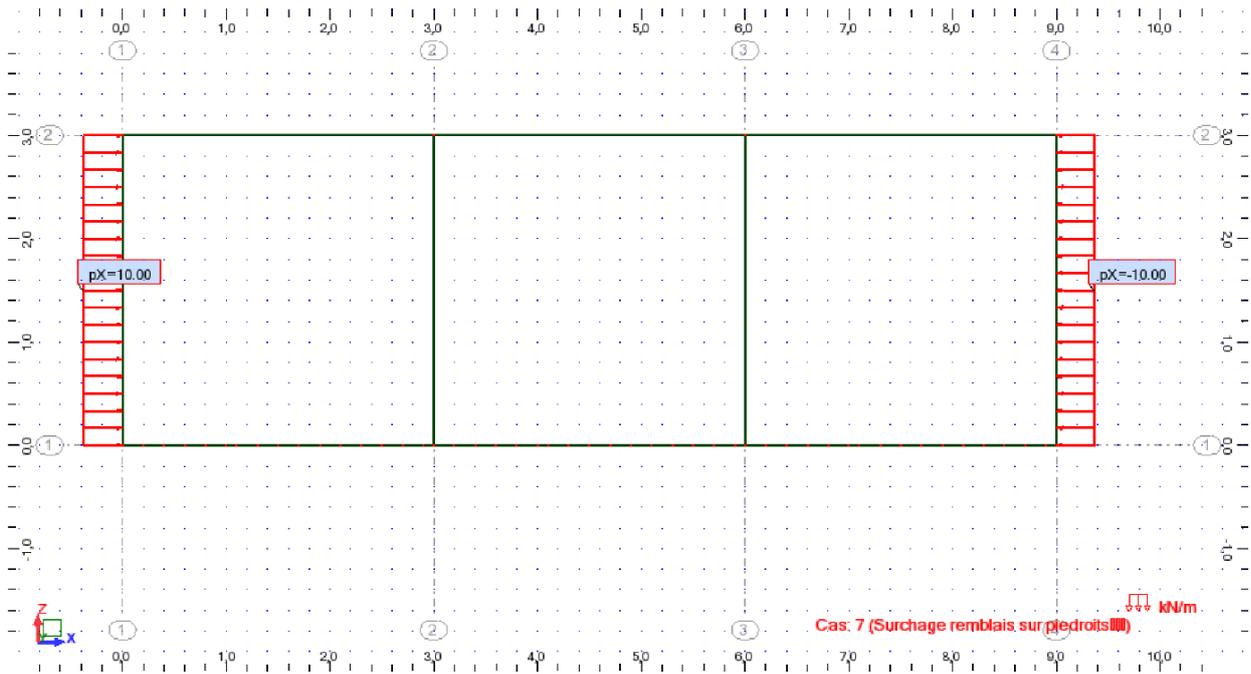
La poussée hydrostatique est due à l'eau à l'intérieur de l'ouvrage. Elle s'applique de façon triangulaire sur les voiles et de façon rectangulaire sur le radier. Elle est appliquée en enveloppe pour deux situations extrêmes :

Poussé Hydrostatique =  $3,00 \times 10 = 30 \text{ KN} / \text{m}^2$



**Poussée Hydrostatique (ph)**

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**



**Surcharge remblais sur piédroits (Srp)**

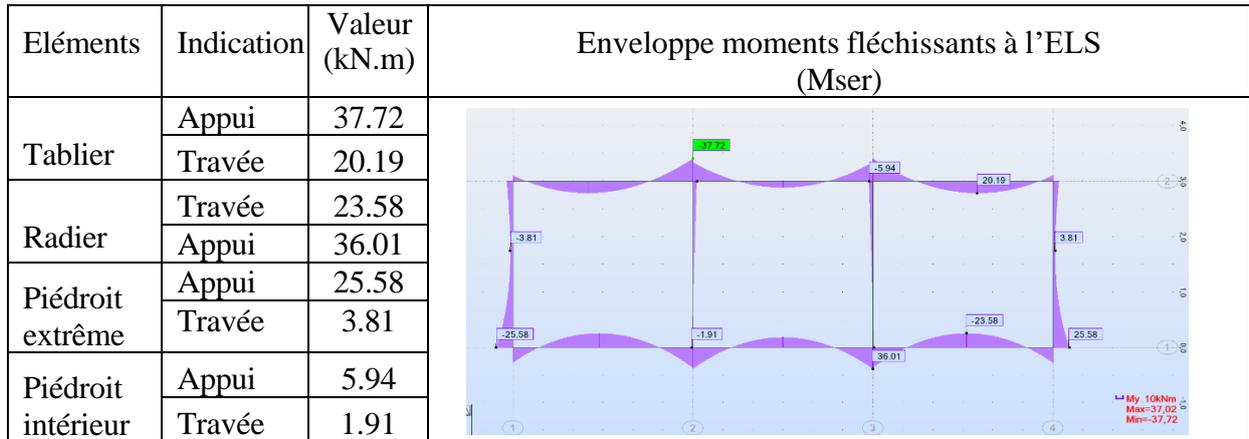
**3.4.4.6- Résultat du calcul des sollicitations – déplacements**

**3.4.4.6.1-Enveloppe moments fléchissant à l'ELU (Mu)**

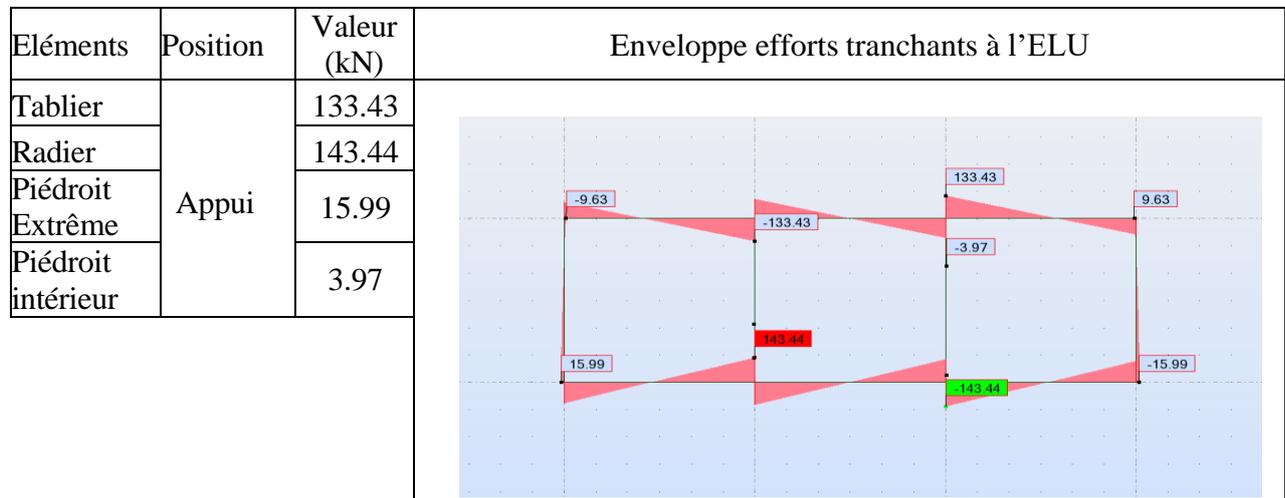
Eléments	Indication	Valeur (kN.m)	Enveloppe moments fléchissant à l'ELU (Mu)
Tablier	Appui	73.12	
	Travée	41.34	
Radier	Travée	45.45	
	Appui	69.93	
Piédroit extrême	Appui	41.46	
	Travée	11.95	
Piédroit intérieur	Appui	9.88	
	Travée	1.18	

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

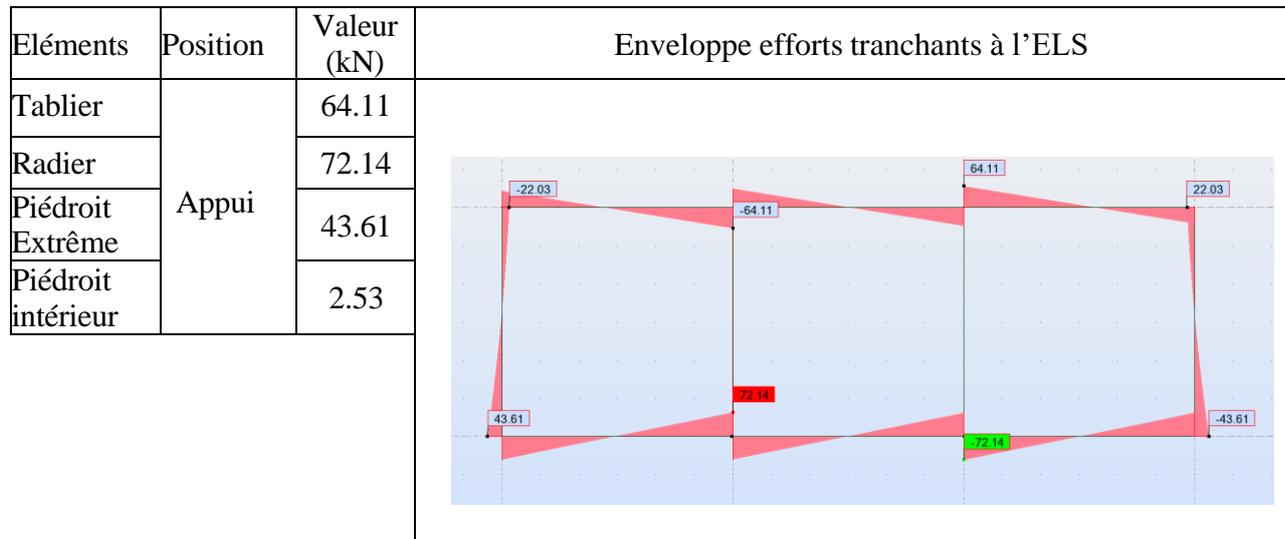
**3.4.4.6.2-Enveloppe moments fléchissant à l'ELS (Mser)**



**3.4.4.6.3-Enveloppe efforts tranchants à l'ELU**

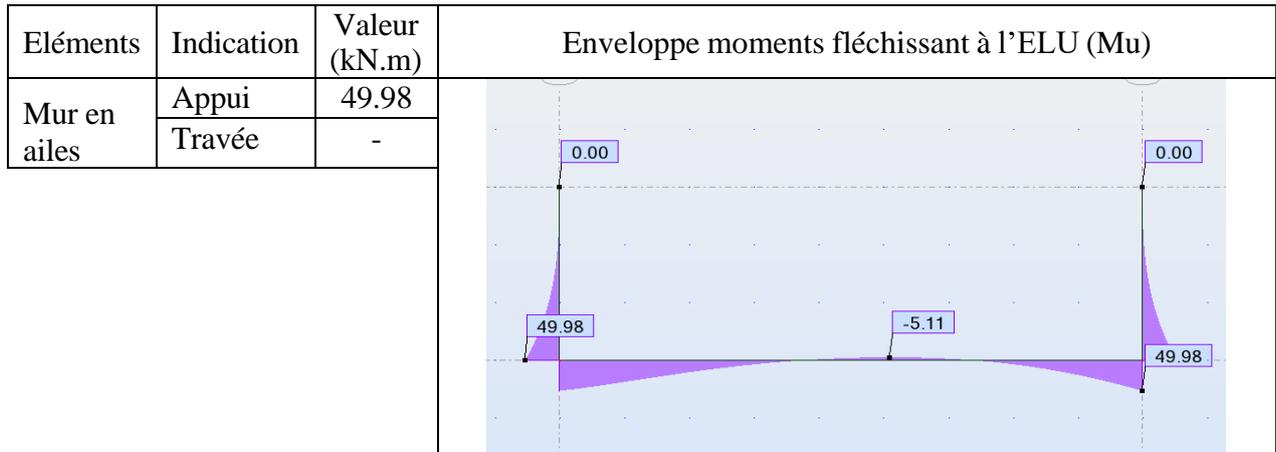


**3.4.4.6.3-Enveloppe efforts tranchants à l'ELS**

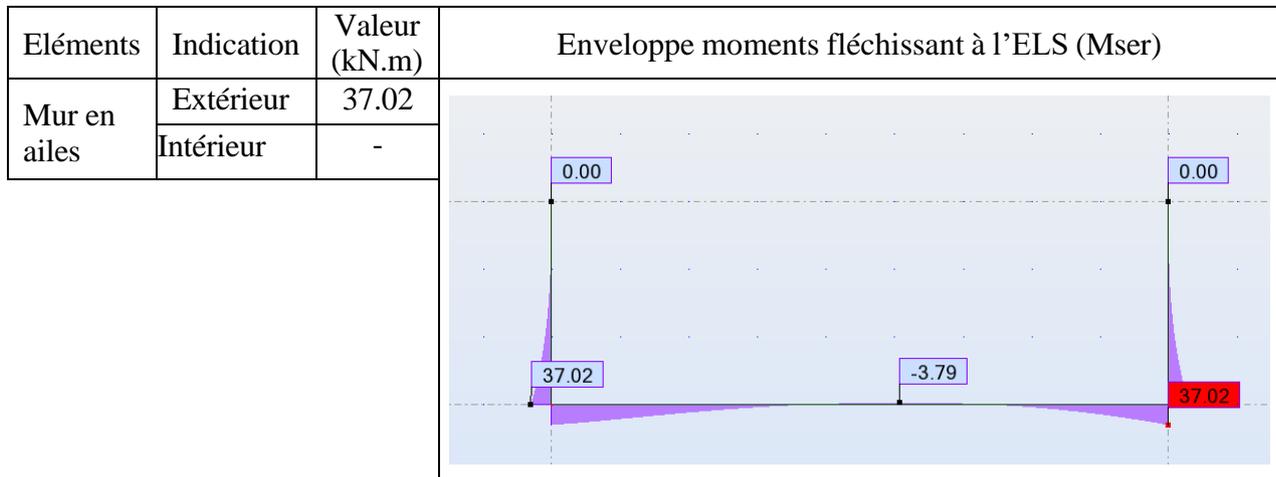


**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

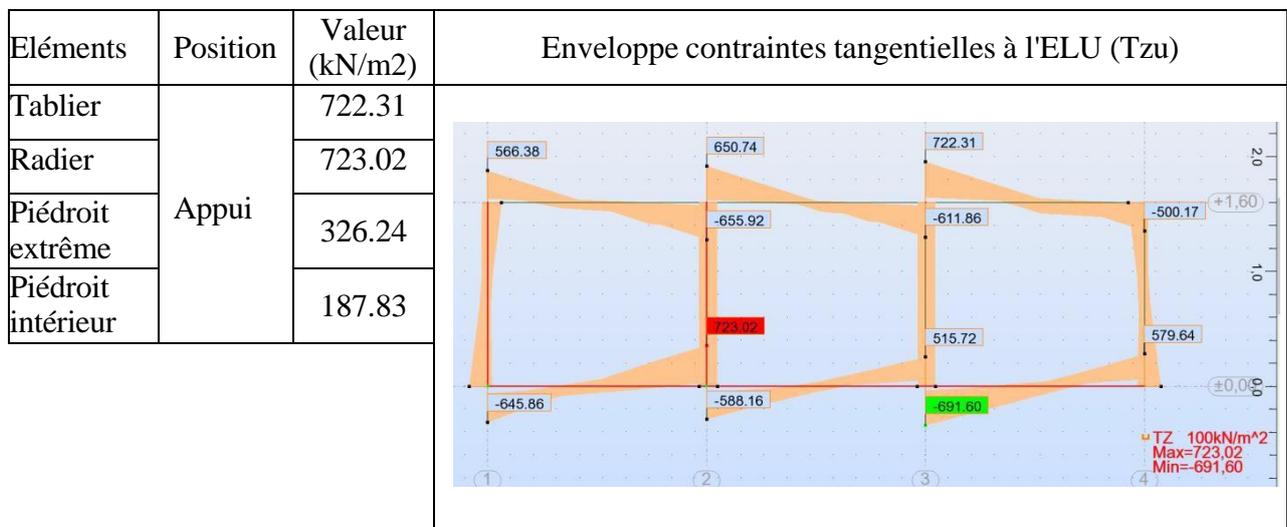
**3.4.4.6.4-Enveloppe moments fléchissant à l'ELU au niveau du mur en ailes (Mu)**



**3.4.4.6.5-Enveloppe moments fléchissant à l'ELS au niveau du mur en ailes (Mser)**

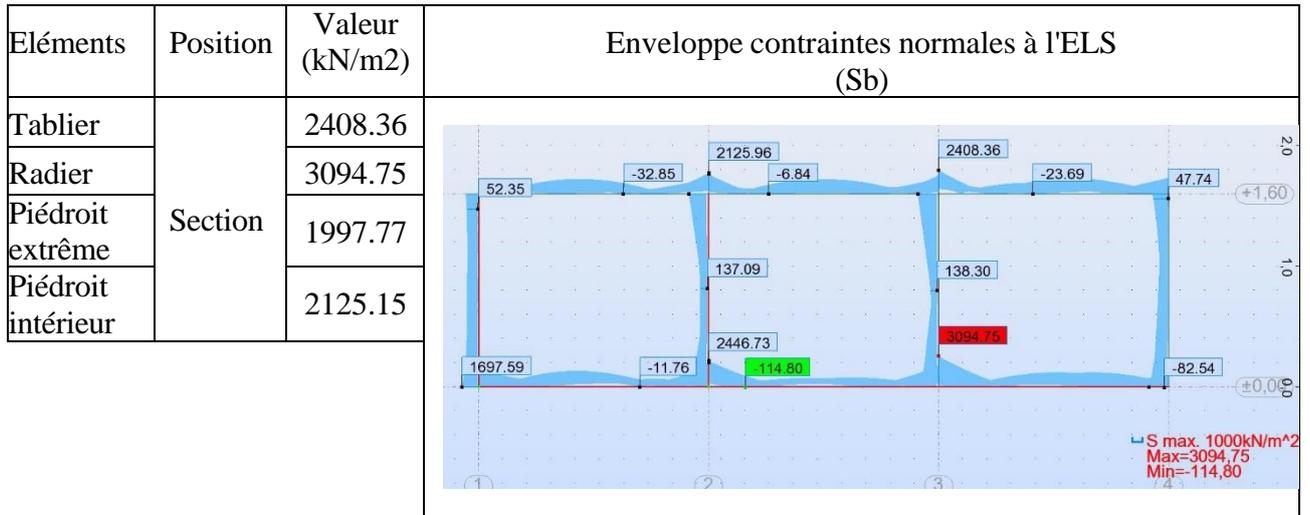


**3.4.4.6.6-Enveloppe contraintes tangentielles à l'ELU (Tzu)**

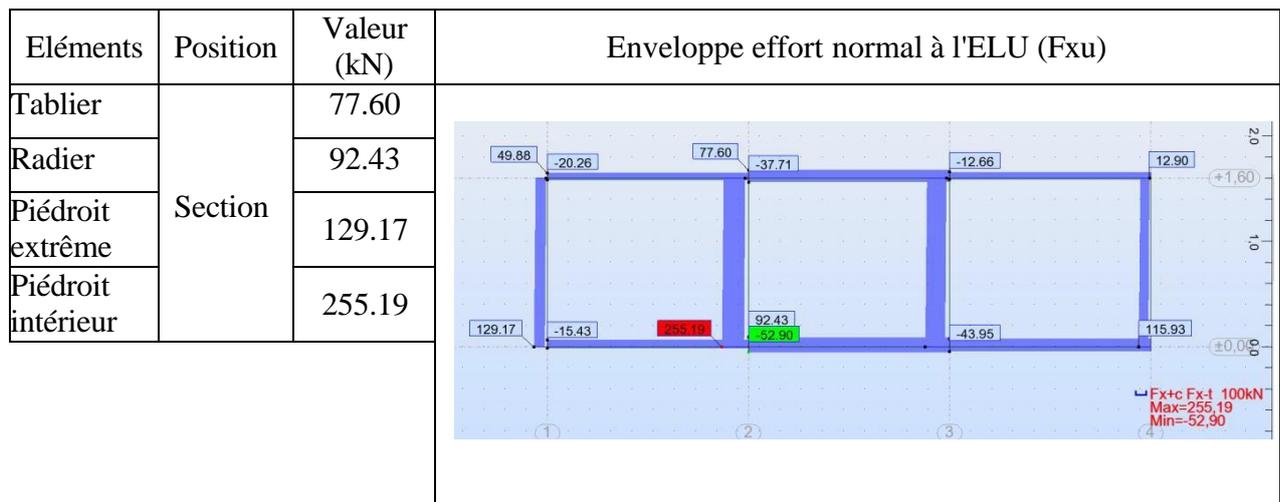


**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

**3.4.4.6.7- Enveloppe contraintes normales à l'ELS (Sb)**



**3.4.4.6.8- Enveloppe effort normal à l'ELU (F<sub>xu</sub>)**



**3.4.4.6.9- Déplacement extrême aux nœuds**

Nœuds	Direction	Valeur
3	UX (cm)	0.0
4	UZ (cm)	1.5
1	RY (rad)	0.001

Déplacement extrême aux nœuds			
	UX [cm]	UZ [cm]	RY [Rad]
<b>MAX</b>	0,0	0,0	0,001
<b>Noeud</b>	3	3	3
<b>Cas</b>	5	3	24 (C)
<b>MIN</b>	-0,0	-1,5	-0,001
<b>Noeud</b>	3	4	1
<b>Cas</b>	26 (C)	24 (C)	24 (C)

*Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :  
Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

**Récapitulatif des Sollicitations Retenue A L'ELU et A L'ELS pour la Détermination du Ferrailages du Dalot**

**Moment Fléchissant My**

TABLIER		RADIER		PIEDROIT EXTREMES		PIEDROIT INTERIEUR		MUR EN AILES	
<b>Combinaison a L'ELU</b>									
<b>Appuis</b>	<b>Travée</b>	<b>Travée</b>	<b>Appuis</b>	<b>Appuis</b>	<b>Travée</b>	<b>Appuis</b>	<b>Travée</b>	<b>Appuis</b>	<b>Travée</b>
73,12	41,34	45,45	68,93	41,46	11,95	9,18	1,18	49.78	-
<b>Combinaison a L'ELS</b>									
37,72	20,19	23,58	36,01	25,58	3,81	5,94	1,91	37.02	-

**Effort Tranchant**

TABLIER		RADIER		PIEDROIT EXTREMES		PIEDROIT INTERIEUR		MUR EN AILES	
<b>Combinaison a L'ELU</b>									
<b>133,43</b>		<b>143,44</b>		<b>15,99</b>		<b>3,97</b>		<b>47.97</b>	
<b>Combinaison a L'ELS</b>									
<b>64,11</b>		<b>72,14</b>		<b>43,61</b>		<b>2,53</b>		<b>35.54</b>	

**3.4.4.6.10-Contrainte de référence exercée par la semelle sur le sol de fondation**

La contrainte minimale requise pour le sol de fondation est la contrainte de référence. Sa valeur est :  $q'_{ref} = 0.60$  bars.

**3.4.4.7-Détermination du ferrailage**

**Tablier**

- [Lit supérieur](#)

**Calcul de Section en Flexion Simple**

**1. Hypothèses :**

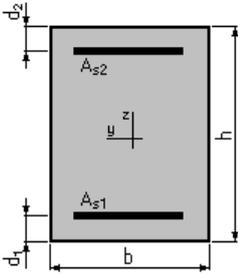
**Béton:  $f_{c28} = 25,0$  (MPa)      Acier:  $f_e = 400,0$  (MPa)**

- Fissuration préjudiciable
- Prise en compte des armatures comprimées
- Pas de prise en compte des dispositions sismiques

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

- Calcul suivant BAEL 91

**2. Section:**



$b = 100,0$  (cm)  
 $h = 30,0$  (cm)  
 $d_1 = 5,0$  (cm)  
 $d_2 = 5,0$  (cm)

**3. Moments appliqués:**

	$M_{max}$ (kN.m)	$M_{min}$ (kN.m)
Etat Limite Ultime ( fondamental )	73,12	0,00
Etat Limite de Service	37,72	0,00
Etat Limite Ultime ( Accidentel )	0,00	0,00

**4. Résultats:**

**Sections d'Acier:**

Section théorique  $A_{s1} = 10,45$  (cm<sup>2</sup>)      Section théorique  $A_{s2} = 0,0$  (cm<sup>2</sup>)  
 Section minimum  $A_s \text{ min} = 3,5$  (cm<sup>2</sup>)  
 théorique  $\rho = 0,35$  (%)  
 minimum  $\rho_{min} = 0,14$  (%)

**Analyse par Cas:**

**Cas ELU  $M_{max} = 73,12$  (kN.m)       $M_{min} = 0,00$  (kN.m)**

Coefficient de sécurité: 1,00      Pivot: A  
 Position de l'axe neutre:  $y = 2,7$  (cm)  
 Bras de levier:  $Z = 23,9$  (cm)  
 Déformation du béton:  $\epsilon_b = 1,21$  (‰)  
 Déformation de l'acier:  $\epsilon_s = 10,00$  (‰)  
 Contrainte de l'acier:  
 tendue:  $\sigma_s = 347,8$ (MPa)

**Cas ELS  $M_{max} = 37,72$  (kN\*m)       $M_{min} = 0,00$  (kN\*m)**

Coefficient de sécurité: 1,07  
 Position de l'axe neutre:  $y = 6,9$  (cm)  
 Bras de levier:  $Z = 22,7$  (cm)  
 Contrainte maxi du béton:  $\sigma_b = 4,8$  (MPa)  
 Contrainte limite:  $0,6 f_{cj} = 15,0$  (MPa)

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

---

Contrainte de l'acier:

tendue:  $\sigma_S = 189,1$  (MPa)

Contrainte limite de l'acier:

$\sigma_S \text{ lim} = 201,6$  (MPa)

- **Lit inférieur**

### **3. Moments appliqués:**

	<b>M<sub>max</sub></b> (kN*m)	<b>M<sub>min</sub></b> (kN*m)
Etat Limite Ultime ( fondamental )	41,34	0,00
Etat Limite de Service	20,19	0,00
Etat Limite Ultime ( Accidentel )	0,00	0,00

### **4. Résultats:**

#### **Sections d'Acier:**

Section théorique  $A_{s1} = 7,9$  (cm<sup>2</sup>)                      Section théorique  $A_{s2} = 0,0$  (cm<sup>2</sup>)

Section minimum  $A_{s \text{ min}} = 3,5$  (cm<sup>2</sup>)

Théorique  $\rho = 0,19$  (%)

Minimum  $\rho_{\text{min}} = 0,14$  (%)

#### **Analyse par Cas:**

**Cas ELU  $M_{\text{max}} = 41,34$  (kN\*m)  $M_{\text{min}} = 0,00$  (kN\*m)**

Coefficient de sécurité: 1,00                      Pivot: A

Position de l'axe neutre:  $y = 1,5$  (cm)

Bras de levier:  $Z = 24,4$  (cm)

Déformation du béton:  $\epsilon_b = 0,64$  (‰)

Déformation de l'acier:  $\epsilon_S = 10,00$  (‰)

Contrainte de l'acier:

tendue:  $\sigma_S = 347,8$ (MPa)

**Cas ELS  $M_{\text{max}} = 20,19$  (kN\*m)  $M_{\text{min}} = 0,00$  (kN\*m)**

Coefficient de sécurité: 1,13

Position de l'axe neutre:  $y = 5,4$  (cm)

Bras de levier:  $Z = 23,2$  (cm)

Contrainte maxi du béton:  $\epsilon_b = 1,3$  (MPa)

Contrainte limite:  $0,6 f_{cj} = 15,0$  (MPa)

Contrainte de l'acier:

tendue :  $\sigma_S = 12,7$  (MPa)

Contrainte limite de l'acier:

$\sigma_S \text{ lim} = 201,6$  (MPa)

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

**TABLEAU RECAPITULATIF DES ARMATURES DALOT 3x300x300**

Partie d'ouvrages		Tablier		Radier		Piédroit extrême		Piédroit intérieur		Murs en ailes	
		B	H	B	H	B	H	B	H	B	H
Dimension de Calcul		100	30	100	30	100	30	100	30	100	30
Sollicitation à L'ELU		Appuis	Travée	Appuis	Travée	Nappe Int	Nappe ext	Nappe Int	Nappe ext	Nappe ext	
		73,12	41,34	68,93	45,45	11,95	41,46	1,18	9,18	49,98	
Sollicitation à L'ELS		Appuis	Travée	Appuis	Travée	Nappe Int	Nappe ext	Nappe Int	Nappe ext	Nappe ext	
		37,72	20,19	36,01	23,58	3,81	25,58	1,91	5,94	37,02	
Acier Théorique		10,45	7,90	9,35	7,92	4,35	7,92	3,5	3,5	8,81	
Choix	Principal	HA14e15	HA12e15	HA14e15	HA12e15	HA12e15	HA12e15	HA12e15	HA12e15	HA12e15	HA14e15
	Renfort	HA14e15		HA14e15							
	Section Réel	10,78	7,92	10,78	7,92	7,92	7,92	7,92	7,92	7,92	10,78
Acier de Repartitions	section Théorique	3,48	2,63	3,12	2,64	1,45	2,64	1,17	1,17	2,94	
	Choix	HA10e20	HA10e20	HA10e20	HA10e20	HA10e20	HA10e20	HA10e20	HA10e20	HA10e20	HA10e20
	Section Réel	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71

## **ANNEXES 1**

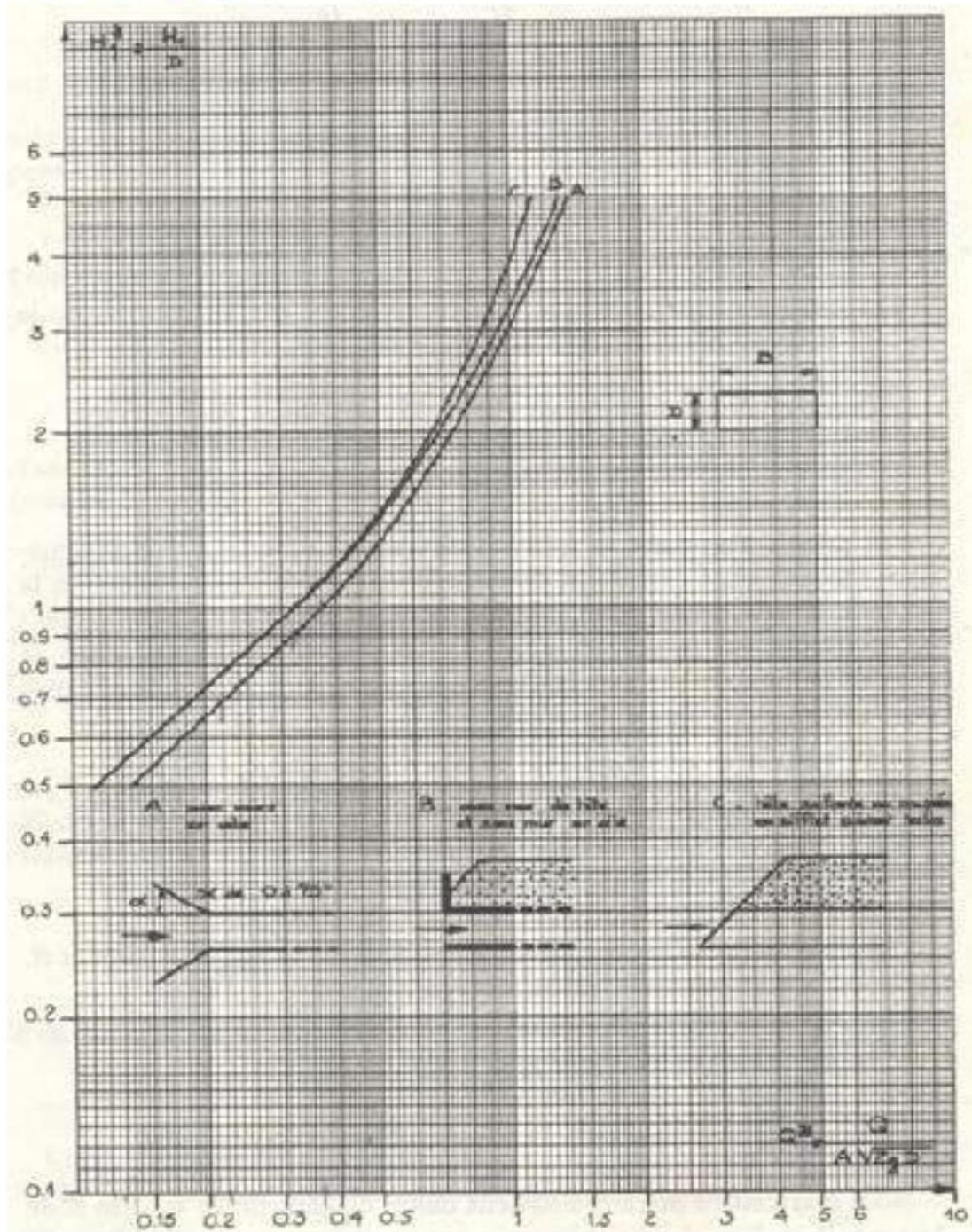
## **PIECES GRAPHIQUES**

## **ANNEXES 2**

**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
*Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

**Abaque1** : Sortie libre Dalot rectangulaire

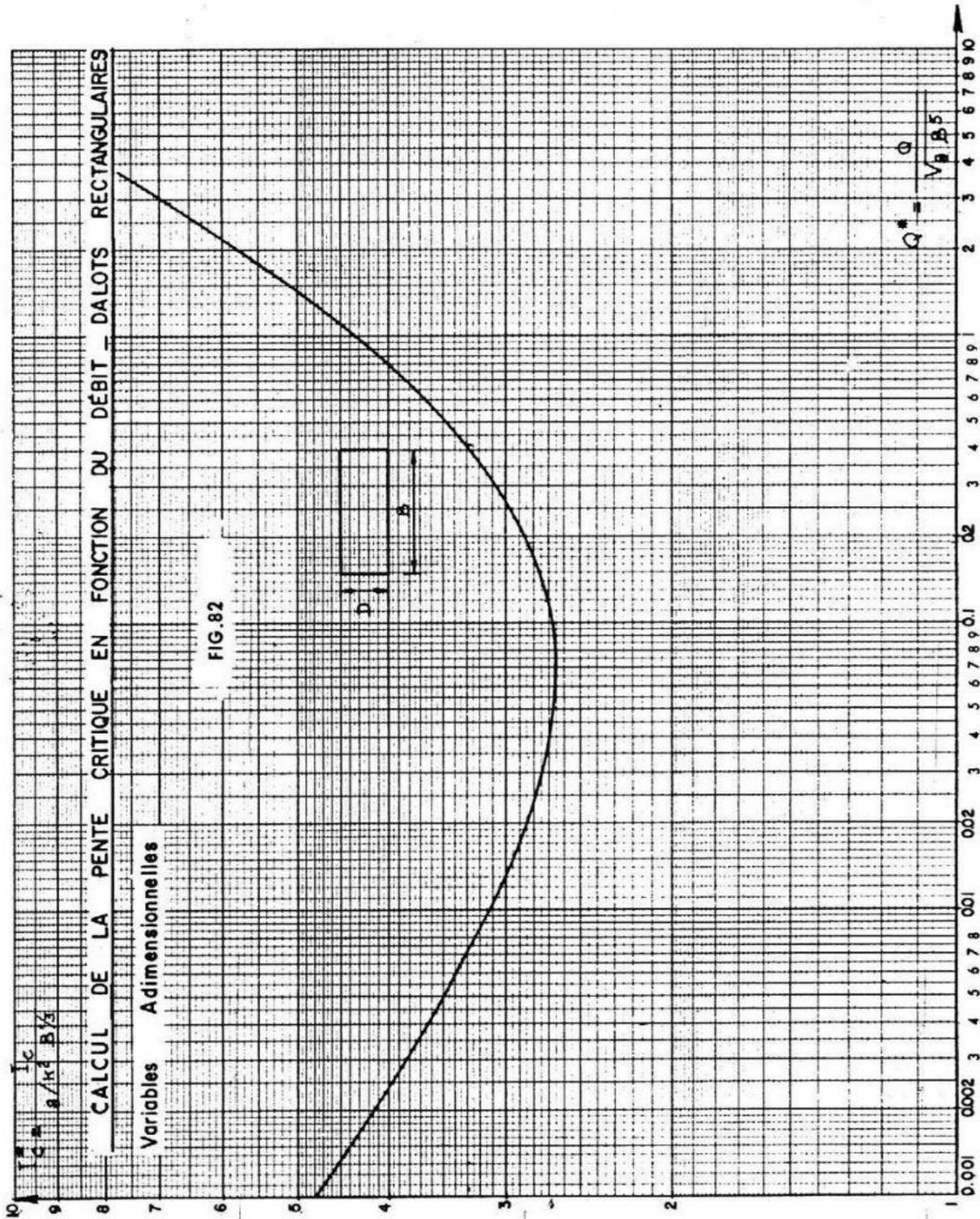
**Sortie libre : Dalots rectangulaires**



A- Avec mur de tête, B- Avec mur de tête et sans mur en aile, C- tête saillant ou coupée en sifflet suivant la pente du talus

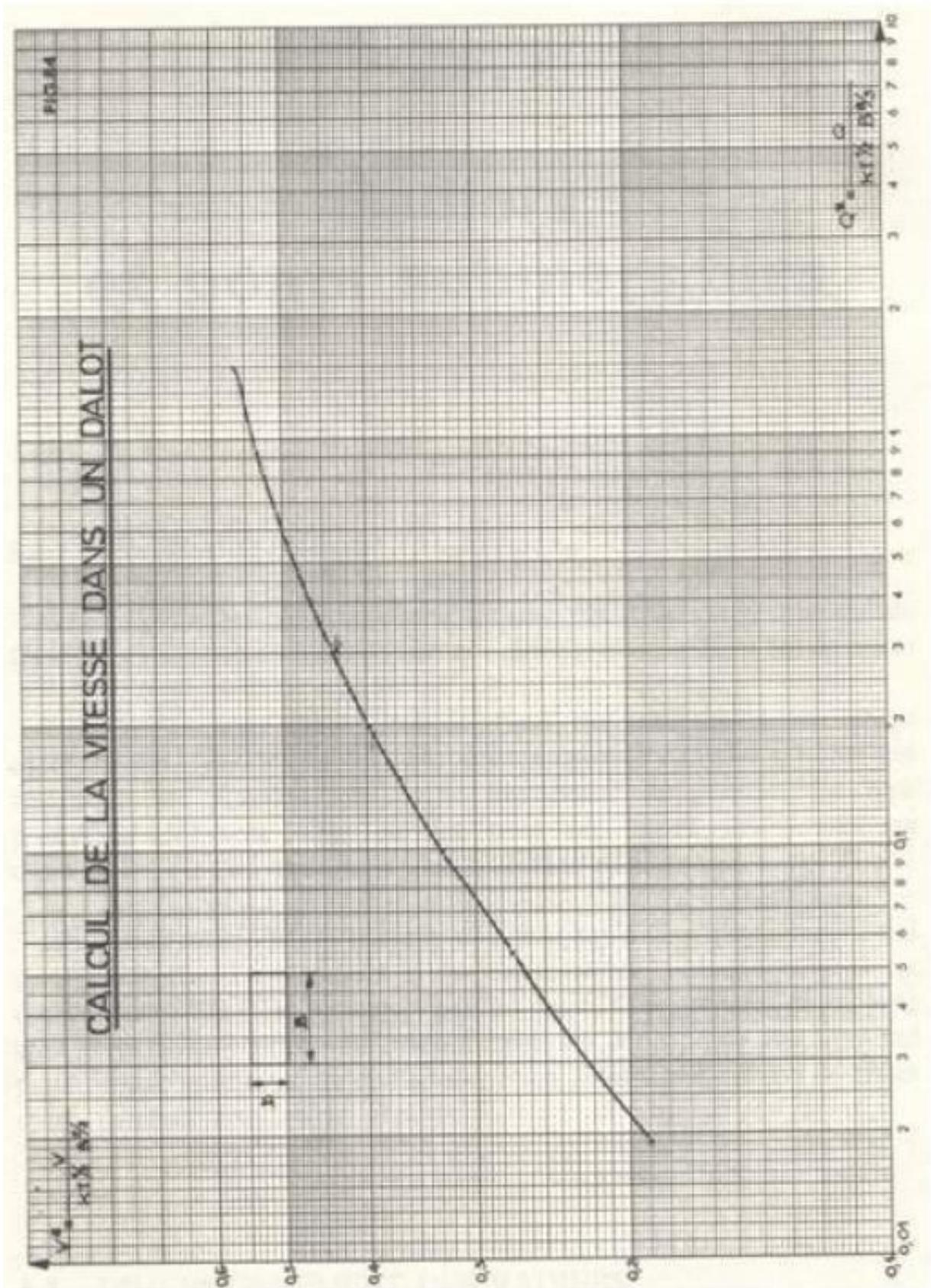
**Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :**  
**Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou**

**Abaque 2 : variation de la pente critique en fonction du débit**



*Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :  
Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou*

**Abaque 3 :** variation de la vitesse dans le Dalot



***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---

***Dimensionnement d'un Ouvrage de Franchissement dans la Commune de Glazoue :***  
***Cas du dalot 3 x 3,00 x 3,00 sur l'axe Adourekoman-Oke Okounou***

---