



## **CALCUL HYDRAULIQUE D'UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE LA DIGUE PISTE DE L'AXE TOVE-HETIN-SOTA DANS LE SUD DU BENIN**

### **HYDRAULIC CALCULATION OF A CROSSING WORK OF THE TOVE-HETIN-SOTA AXIS DRIVE TRACK IN SOUTHERN BENIN**

*HOUNTON DJI B.<sup>1</sup>, CODO F. P.<sup>2</sup>, ABALOT S.S.J.<sup>3</sup>, SINTON DJI L.O.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Université d'Abomey-Calavi, Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA), 072 BP 50 Cotonou, Bénin.

<sup>2</sup> Université d'Abomey-Calavi, Institut National de l'Eau (INE),  
01 BP 526 Cotonou, Bénin.

<sup>3</sup> Laboratoire de l'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau (LHME), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin.

*babilassrock@yahoo.fr*

### **RESUME**

Pour désenclaver les zones de production agricole et promouvoir les échanges commerciaux, socio-économiques et culturels entre les populations des diverses localités à l'intérieur de la vallée de l'Ouémé et avec le reste du pays, il a été lancé un programme de réhabilitation et de construction d'ouvrages endommagés ou inexistantes. Dans l'arrondissement de Dangbo, il a été engagé les études de réhabilitation de la digue-piste reliant les axes Tovè-Hétin-Sota pour le compte du Projet d'Appui aux Infrastructures Agricoles dans la Vallée de l'Ouémé (PAIA-VO). La présente étude se consacre au dimensionnement hydraulique d'ouvrage de franchissement. Pour ce faire, il a été question de déterminer la section hydrauliquement favorable de l'ouvrage en sortie libre et les conditions critiques de vitesse et de pente.

**Mots- clés :** Calcul hydraulique, ouvrage de franchissement, digue piste.

## **ABSTRACT**

To open up agricultural production zones and promote trade, socio-economic and cultural exchanges between the populations of the various localities within the Ouémé valley and the rest of the country, a Rehabilitation program of damaged has been launched. It was engaged in the borough of Dangbo, studies for the rehabilitation of the dam road connecting the Tove-Hetin-Sota axes on behalf of the agricultural infrastructure support project in the valley of Oueme. This present study, was done by determining the suitable hydraulic section of the free-flow structure and the critical conditions of speed and slope. Among other things, the determination of the various stresses under loads the forces, resulted in the choice of the minimum sections of steel necessary for the resumption of the forces.

**Keywords:** Hydraulic calculation, crossing structure, track dyke

## **INTRODUCTION**

La piste est une voie carrossable, destinée à la liaison entre les localités et les zones rurales, elle assure la circulation hors agglomération (Ansou, 2007). Facteur économique de premier plan, la piste permet le passage d'un véhicule et le franchissement de cours d'eau assuré par les ouvrages sommaires. Elle assure l'évacuation des produits agricoles de la région (Amani, 2008).

Les pistes rurales permettent de désenclaver les zones de production en améliorant l'écoulement des marchandises vers les villes, réduisant ainsi les coûts de transport. Elles améliorent l'accessibilité aux services de base (santé, école) et l'accès aux marchés, des produits agricoles. Un réseau routier bien construit et bien entretenu est essentiel à la croissance économique et à la lutte contre la pauvreté dans les pays en développement.

Une étude de la Banque Mondiale au Bénin a montré que l'agriculture contribue à environ 34,3% au Produit Intérieur Brute (PIB). Ce secteur emploie plus de 70% de la population active (milieu rural). L'agriculture qui procure des revenus à 75% de la population active constitue l'élément le plus important de l'économie béninoise (Ansou, 2007).

Malgré l'apport de l'agriculture dans l'économie béninoise, la pauvreté demeure dans nos villages. Il est facile de se plaindre de manque d'éclairage et d'entretien des routes en ville, il est aussi difficile d'accepter qu'au 21<sup>ème</sup> siècle, qu'il y ait encore des villages qui restent coupés du monde pendant la saison de pluie.

La basse et la moyenne vallée de l'Ouémé s'étendent sur une superficie de 4.770 km<sup>2</sup> et couvre 14 communes réparties sur trois départements (Zou, Atlantique et Ouémé). Il s'agit de la vallée la plus fertile du Bénin, présentant d'importants potentiels hydroagricoles et qui pourrait constituer un pôle agricole pour l'ensemble du pays et la sous-région (Ansou, 2007). En effet, le potentiel des terres agricoles de cette zone s'élève à plus 70.000 ha, mais moins de 30% de cette superficie est actuellement exploitée, faute de l'inaccessibilité des sites. L'accent étant mis sur le désenclavement des zones agricoles, le réseau routier doit être praticable en toutes saisons. Il existe des ouvrages de franchissement spécifiques à chaque type d'obstacle. Généralement, les obstacles majeurs constitués par des Talweg plan, avec lit mineur peu important sont franchissables par des petits ponts encore appelés ponceau (Amani, 2008). Avec les inondations qu'a connues notre pays ces dernières années, plusieurs ouvrages d'art restés vétustes ont été détruits. Pour rétablir la circulation sur les voies concernées, le Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche (MAEP) du Bénin a lancé le projet de réhabilitation de la digue-piste Tovè-Hètin-Sota dans le sud du Bénin.

C'est dernière raison qui justifie la présente étude qui a pour objectif de réaliser le dimensionnement hydraulique de l'ouvrage franchissement se trouvant sur ledit tronçon.

## **PRESENTATION DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE LA DIGUE PISTE DE L'AXE TOVE-HETIN-SOTA**

La Commune de Dangbo, située dans le département de l'Ouémé, s'étend sur une superficie de 149 km<sup>2</sup> avec une densité de 443 habitants/km<sup>2</sup> (RGPH4, 2013). Elle est limitée au nord par la Commune d'Adjohoun, au sud par la Commune des Aguégus, à l'est par la Commune d'Akpro-Misséréte et à l'ouest par la Commune de So-Ava (Département de l'Atlantique). L'ouvrage de franchissement se situe plus précisément sur l'axe Tovè-Hètin-Sota. L'accès au site est possible grâce à une piste rurale qui permet également de relier les différents villages. La figure 1 montre la localisation de la zone d'étude.

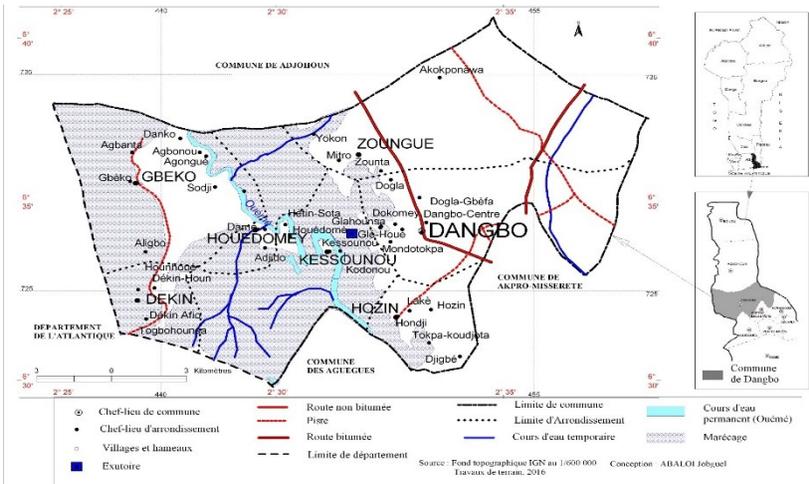


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

### Climat

Avec un climat subéquatorial humide, la Commune connaît deux (02) saisons de pluies et deux (2) saisons sèches (Afrique conseil, 2006). La grande saison de pluie s'étend de mars à juillet et la petite, de septembre à novembre. La grande saison sèche s'étend de décembre à février et la petite en Août. Les données pluviométriques ont été obtenues à la direction départementale du Centre Agricole Régional pour le Développement Rural (CARDER) à Porto-Novo, pour l'analyse des paramètres pluviométriques de la zone. Les données statistiques : pluviométrie mensuelle et annuelle, de la station couvrent la période de 1980 à 2010 et sont présentées par les figure 2 et 3.

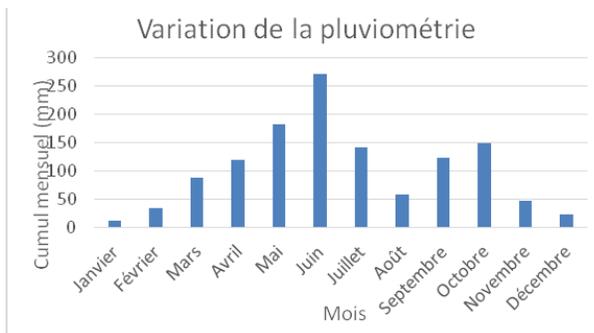


Figure 2 : Variation de la pluviométrie mensuelle de la station pluviométrique du CARDER à Porto Novo

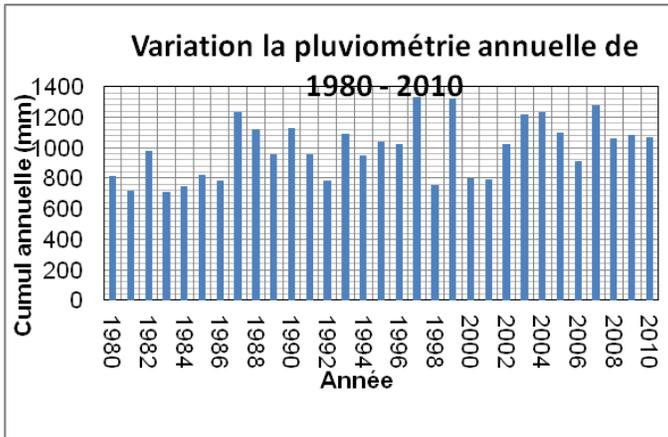


Figure 3 : Variation de la pluviométrie annuelle de 1980 - 2010 de la station pluviométrique du CARDER à Porto Novo

L'observation des pluies mensuelles moyennes interannuelles pour une période de 30 ans (1980-2010) de la station pluviométrique du CARDER à Porto Novo, révèle la présence de deux (02) pics dont le premier au mois de Mai, le deuxième plus élevé se manifeste au mois de Juin. Ceci explique les crues ou cours desquelles les basses vallées "WODJI" situées le long du fleuve Ouémé, sont complètement inondées de juillet à Octobre (Afrique conseil, 2006). Pendant cette période de hautes eaux allant du mois de Juillet au mois d'octobre (04 mois), le ruissellement au niveau du cours d'eau à franchir est très prononcé, le risque de submersion de la digue piste devient donc plus élevé. Le climat et les précipitations étant les principaux facteurs qui influencent l'hydrologie de l'Ouémé. Son régime, de type tropical (Adam et Boko, 1993), se caractérise par une seule période de basses eaux, qui dure en général sept mois, de décembre à juin, et par une seule période de crue, de trois à quatre mois environ.

### Sols

On distingue deux types de sols dans la commune. Le plateau, caractérisé par un sol ferrallitique et la vallée caractérisée par le vertisol très propice à la production maraîchère (Afrique conseil, 2006).

## **Végétation**

La végétation de la Commune de Dangbo est de type savane arborée où prédominent les palmiers à huile naturels. On rencontre par ailleurs, une dizaine de formations forestières estimées à environ 15 hectares. Les forêts sont à dominance de samba et de fromagers. Ce couvert végétal est soumis régulièrement à des assauts dévastateurs de l'Homme pour des fins de recherche de bois de chauffe, et de bois d'œuvre, ce qui conduit à la déforestation poussée dans la commune (Afrique conseil, 2006).

## **Réseau hydrographique**

Une reconnaissance de terrain effectuée dans le cadre de cette étude a permis de constater que l'axe Tovè-Hètin-Sota est traversé par un cours d'eau (affluent du fleuve Ouémé) dont les écoulements sont non négligeables. Le lit du cours d'eau retenu pour l'ouvrage est très marqué, traduisant des écoulements importants.

## **MATERIELS ET METHODES**

### **Données de l'étude**

Les données utilisées sont obtenues au niveau de la Direction Générale de l'Eau du Bénin (DGEau). Ces données concernent l'hydrographie, la géologie de la zone d'étude.

### ***Hydrographie de la zone d'étude***

La délimitation topographique du bassin versant à partir de la carte hydrographique de la commune de Dangbo nous a permis d'obtenir la carte du réseau hydrographique du bassin versant (Figure 4).

### ***Géologie de la zone d'étude***

La délimitation topographique du bassin versant à partir de la carte géologique de la commune de Dangbo nous a permis d'obtenir la carte géologique du bassin versant (Figure 5).

## **Approche méthodologique**

### ***Estimation de la crue du projet***

La période de retour T à prendre en compte doit, faire l'objet d'une analyse mettant en regard le coût d'investissement de l'infrastructure avec les conséquences d'un débordement pour l'utilisateur. Les valeurs recommandées sous routes ou rétablissements de communications sont : 100 ans, 50 ans, voire 25 ans (Gaillard, Ranchet et Béréterbide, 2006). La crue cinquantennale est la crue dont la fréquence d'apparition est d'une fois tous les 50 ans. Elle a été retenue comme crue de projet dans notre étude. La détermination de cette crue de projet passe par celle de la crue décennale dans un premier temps. La crue décennale est la crue dont la fréquence d'apparition est d'une fois tous les 10 ans. Son estimation se fait à partir de deux méthodes (ORSTOM et C.I.E.H), appelées méthodes déterministes, dont les étapes sont tirées du manuel « Crues et apports », destiné à l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche (FAO, 1996).

### ***Etude hydraulique***

L'étude hydraulique ou encore dimensionnement hydraulique consiste à faire le choix de l'ouvrage de franchissement ainsi que, le calage de la section d'ouverture. Nous distinguons deux types de ponceaux pour le franchissement des cours d'eau ou pour l'assainissement.

Les buses en béton et les buses métalliques qui sont les plus utilisées de nos jours. La mise en œuvre des buses nécessite une épaisseur suffisante de remblais (0.80 m au minimum), surtout dans le cas des buses de forme circulaire.

Pour les buses arches qui sont beaucoup plus aplaties, une faible hauteur de remblais est utilisée.

Les dalots qui sont des ouvrages en béton armé et qui présentent une section rectangulaire ou carrée. Ils ne nécessitent aucun remblai pour leur mise en œuvre car une circulation à même la dalle peut être envisagée, moyennant des précautions lors de la construction. Dans le cas où un remblai serait nécessaire, il doit être de faible épaisseur (de l'ordre d'un ou deux mètres au maximum), à moins d'être spécialement calculé pour les surcharges.

Pour la détermination proprement dite des dimensions des « petits ouvrages hydrauliques » d'une route, il est indispensable de bien connaître leurs conditions de fonctionnement ainsi que les diverses formes que peut prendre l'écoulement à travers ces ouvrages.

On distingue essentiellement deux types de fonctionnement pour les ponceaux :

- la sortie est noyée, ce qui signifie que le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage dépasse le bord supérieur de l'ouvrage (Figure 6).
- La sortie est libre, cela signifie que le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage est en dessous du bord supérieur de l'ouvrage (Figure 7).

Calcul hydraulique d'un ouvrage de franchissement de la digue piste de l'axe Tove-Hetin-Sota dans le sud du Benin

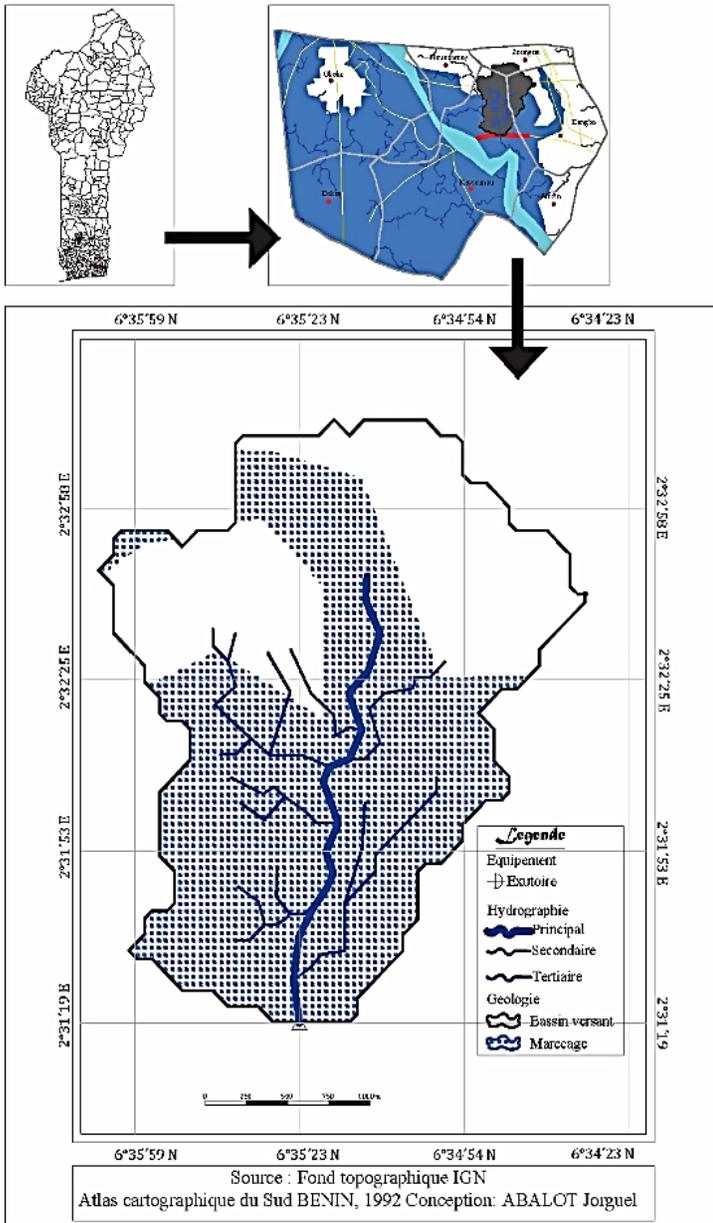


Figure 4 : Extrait de la carte du réseau hydrographique du bassin versant (DGEau, Bénin)

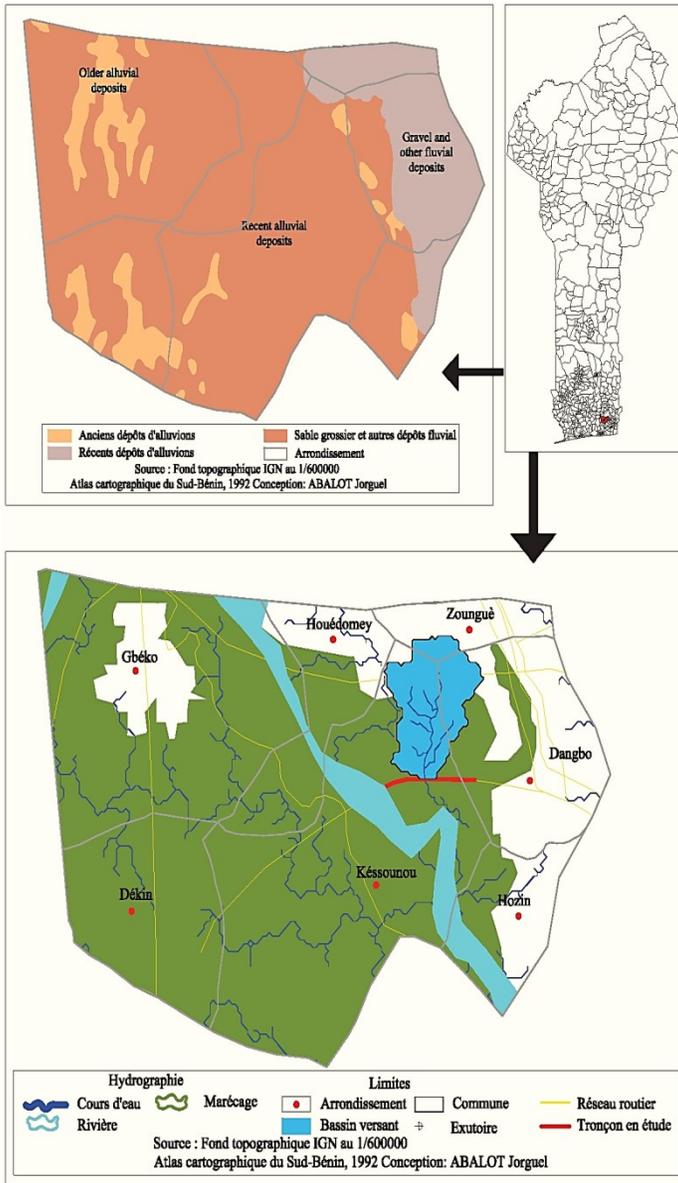


Figure 5 : Extrait de la carte géologique du bassin versant (DGEau, Bénin)

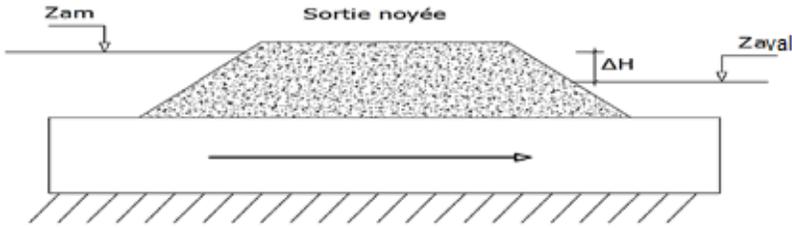


Figure 6 : Fonctionnement en sortie noyée d'un ouvrage de franchissement

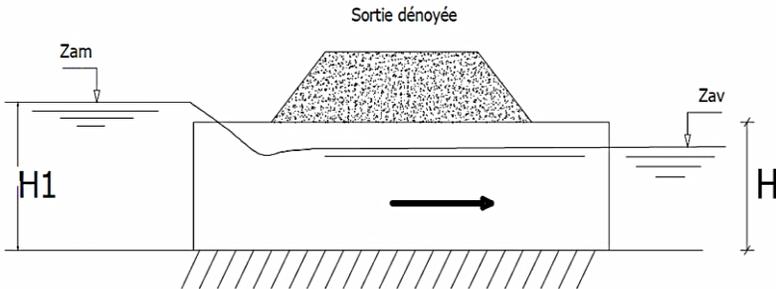


Figure 7 : Fonctionnement en sortie libre d'un dalot

Le choix du type d'ouvrage effectué, le dimensionnement hydraulique peut intervenir. Ce dimensionnement est précédé d'un pré dimensionnement. En effet, connaissant le débit de projet, un choix de certains éléments comme : le nombre de travées, les dimensions de l'ouvrage (hauteur ou diamètre, largeur), est effectué sans aucun calcul, mais en tenant compte des normes afférentes au type d'ouvrage choisi. Le choix de ces éléments permet alors de calculer les paramètres tels que la section fictive  $A$  de l'ouvrage, le débit unitaire  $q$  ainsi que la vitesse fictive  $V$ . Ces différents calculs mettent alors fin à la partie pré dimensionnement.

Ensuite, nous passons à la détermination de la profondeur d'eau  $H_1$  en amont de l'ouvrage par le calcul de variables adimensionnelles  $Q^*$  et  $H^*$ .

Puis intervient le calcul de la pente critique  $I_c$  de l'ouvrage après celui des variables adimensionnelles  $Q^*$  et  $I_c^*$ .

Enfin la détermination de la vitesse réelle d'écoulement  $V$  par le calcul des variables adimensionnelles  $Q^*$  et  $V^*$  met fin à la partie dimensionnement hydraulique.

Vis-à-vis de la durabilité des ouvrages hydrauliques, les vitesses doivent respectées les critères suivants (Gaillard, Ranchet et Béréterbide, 2006):

- ouvrages en béton :  $V \leq 4$  m/s ;
- ouvrages métalliques :  $V \leq 2,5$  m/s.

Ainsi, pour un ouvrage en béton armé avec une vitesse maximale retenue tel que,  $V_{\max} = 3$  m/s, lorsque la vitesse réelle d'écoulement  $V$  est inférieure ou égale à 3 m/s le dimensionnement hydraulique est validé. Sinon, le dimensionnement hydraulique est à reprendre afin d'obtenir une vitesse adéquate.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Résultats

Dans cette partie, on présentera les résultats obtenus pour le choix de l'ouvrage de franchissement ainsi que pour son dimensionnement hydraulique.

#### *Choix de l'ouvrage de franchissement*

L'ouvrage étant situé en pleine campagne, il existe des risques d'obstruction des buses par des branchages et souches, ce qui est une condition suffisante pour écarter la variante des buses et laisser le choix aux dalots dans le lot des « petits ouvrages hydrauliques ». Par contre, les buses en béton ont des caractéristiques structurales supérieures à ceux des dalots en béton. Cependant, pour un même niveau d'eau en amont, les dalots permettent de faire passer un débit plus important. Aussi, l'utilisation des buses nécessite une bonne contrainte du sol, ce qui n'est pas le cas pour notre site. Le choix du dalot est donc plus judicieux pour notre ouvrage.

#### *Dimensionnement hydraulique de l'ouvrage*

Pour la suite de l'étude, le type de fonctionnement du dalot est considéré comme un fonctionnement en sortie dénoyée ou libre, afin d'assurer l'accès du site en toutes périodes. Au terme de ces différentes considérations, ainsi que pour une facilité de mise en œuvre, nous avons opté pour le choix de modules de dalots avec mur en aile, faisant  $30^\circ$  avec l'axe de l'ouvrage.

Le choix général de l'ouvrage et la crue de projet retenue, ont permis de calculer une vitesse réelle  $V = 2,99$  m/s inférieure à la vitesse admissible  $V_{\max} = 3$  m/s. Cette vitesse réelle  $V$  est valable pour six (06) travées de dalots ayant pour ouverture hydraulique :  $D = 2$  m et  $B = 3$  m.

Dans le tableau 1, le détail du dimensionnement hydraulique, qui ayant permis d'obtenir la vitesse réelle, est présenté.

**Tableau 1 : Résultats du dimensionnement hydraulique.**

Désignation	Formules	Unités	Résultats
Q50 de projet retenue	$Q_p = \frac{Q_{50ORSTOM} + Q_{50CIEH}}{2}$	m <sup>3</sup> /s	43.4
<b>1) Détermination de la section d'ouverture</b>			
Nombre de travée	N	u	6
Hauteur fictive	D	m	2
Largeur fictive	B	m	3
Section fictive	$A = D \times B$	m <sup>2</sup>	6
Débit unitaire	$q = \frac{Q_p}{N}$	m <sup>3</sup> /s	7.23
Vitesse fictive	$V = \frac{Q_p}{A}$	m/s	1.21
<b>2) Détermination de la profondeur d'eau en amont de l'ouvrage</b>			
<b>Calcul des variables adimensionnelles Q* et H*</b>			
Q*	$Q^* = \frac{q}{B \times D \times \sqrt{2 \times g \times D}}$	-	0.19255
H*		-	0.64212
<b>Calcul de la profondeur d'eau en amont de l'ouvrage</b>			
H1	$H_1 = H^* \times D$	m	1.28
<b>3) Détermination de la pente critique Ic</b>			
<b>Calcul des variables adimensionnelles Q* et Ic*</b>			
Q*	$Q^* = \frac{q}{\sqrt{g \times B^5}}$	-	0.14823
Ic*			2.77468
<b>Calcul de la pente critique de l'ouvrage</b>			
Ic	$I_c = I_c^* \times \frac{g}{K^2 \times D^{1/3}}$	-	0.00481
<b>4) Détermination de la vitesse réelle d'écoulement</b>			
<b>Calcul des variables adimensionnelles Q* et V*</b>			
Q*	$Q^* = \frac{q}{K \times I_c^{1/2} \times B^{8/3}}$	-	0.08317
V*		-	0.30976
<b>Calcul de la vitesse réelle d'écoulement</b>			
V	$V = V^* \times K \times I_c^{1/2} \times B^{2/3}$	m/s	2.9927
Vitesse réelle d'écoulement retenue	$V = V^* \times K \times I_c^{1/2} \times B^{2/3}$	m/s	2.99

## **DISCUSSION**

Le principal critère de conception d'un ponceau est qu'il doit être en mesure de faire passer l'eau sans occasionner des niveaux d'eau ou des conditions d'écoulement inadmissibles. Le dimensionnement hydraulique est donc une étape nécessaire pour garantir l'évacuation effective de l'excès d'eau. Connaissant le débit du projet à évacuer, plusieurs choix peuvent être établis compte tenu des caractéristiques du projet au droit de l'ouvrage et de la vitesse maximale. Le but étant d'aboutir à une section optimale, la méthode des abaques permet de déterminer à partir des paramètres adimensionnels, les paramètres réels de l'ouvrage.

En l'absence de données hydrométriques fiables, pour effectuer une étude hydrologique analytique le débit de projet a été calculé à partir des méthodes déterministes (ORSTOM et CIEH). Cependant, pour un même bassin, on note des valeurs variées, selon les méthodes utilisées. L'écart entre les débits de pointe de crue obtenue entre la méthode ORSTOM et la méthode CIEH s'explique par les différents paramètres considérés pour la mise en œuvre des équations et suivant l'approche, ainsi pour la crue décennale déterminé par l'approche historique sur le site du projet, nous avons obtenu un débit décennal  $Q_{10} = 15,22 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit une différence de  $6,1 \text{ m}^3/\text{s}$  par rapport à la méthode ORSTOM et  $2,91 \text{ m}^3/\text{s}$  par rapport à la méthode CIEH. Il faut noter que la méthode la plus utilisée en assainissement pour l'estimation des crues est la méthode rationnelle, cependant cette méthode se limite au bassin inférieur ou égale à  $4 \text{ km}^2$ .

## **PROPOSITIONS DE PLANS POUR L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE LA DIGUE PISTE**

Le dimensionnement hydraulique effectué pour l'ouvrage de franchissement de la digue piste de l'axe Tovè-Hètin-Sota, a permis de faire les propositions de plans suivants :

Calcul hydraulique d'un ouvrage de franchissement de la digue piste de l'axe Tove-Hetin-Sota dans le sud du Benin

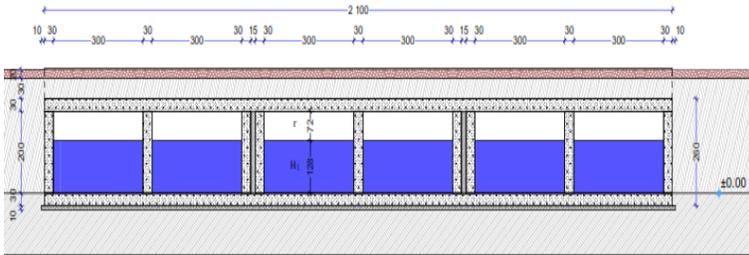


Figure 8 : Coupe longitudinale de l'ouvrage de franchissement

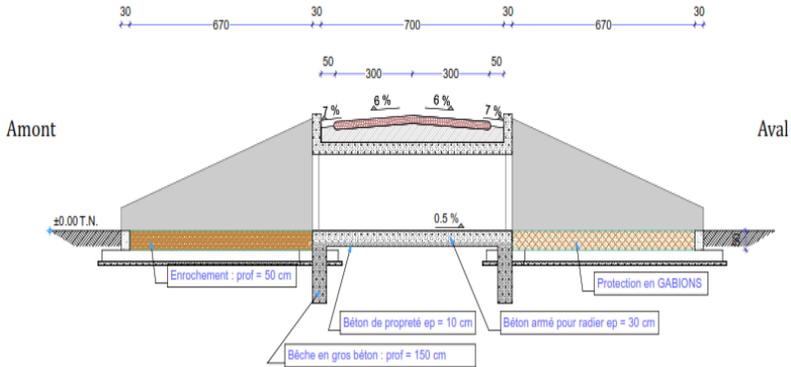


Figure 9 : Coupe transversale de l'ouvrage de franchissement

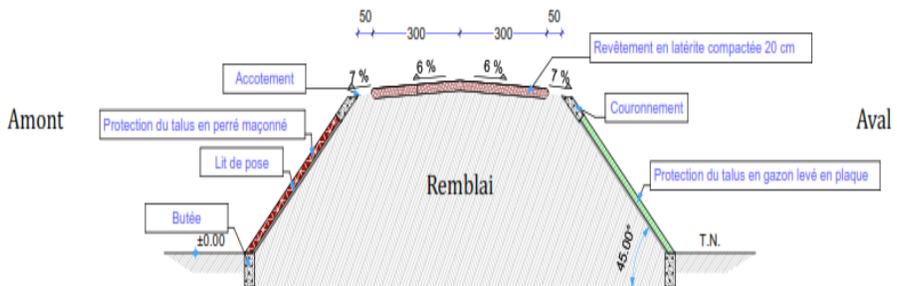


Figure 10 : Coupe transversale de la digue

## **CONCLUSION**

La réalisation de l'ouvrage de franchissement (dalot) sur l'axe Tovè-Hètin-Sota dans la commune de Dangbo contribuera d'une manière remarquable au désenclavement de cette région et à l'amélioration des conditions de vie des populations.

Par le calcul de la crue de projet et certaines considérations de la zone d'étude, nous avons pu choisir le type d'ouvrage qui sera le mieux adapté. Tout en respectant la vitesse limite de 3m/s, le dimensionnement hydraulique nous a donné un dalot de six (6) travées, d'une longueur totale de 21 m subdivisé en trois (3) modules de deux (2) ouvertures. Chaque ouverture a une section de 3 m x 2 m.

Afin que cet ouvrage puisse garantir une sécurité des usagers et sa pérennité, un dimensionnement structural doit être fait afin de déterminer les épaisseurs des différents éléments ainsi que les sections d'aciers et les dispositions.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- ADAM J., BOKO H. (1993). Etudes du régime hydrologique du delta de l'Ouémé, 17 p.
- ADAMOU I. I. R. (2006). Exposé de l'atelier de formation organisée par le CLRT thème : Assainissement routier, Tunis, 47 p.
- AFRIQUE CONSEIL (2006). Monographie de la commune de Dangbo, 54 p.
- AMANI N. (2008). Génie Rural et Topographie, 34p.
- ANSOU M. (2007). L'importance de la route dans le développement socio-économique d'une région, 22 p.
- ASSOGBA I. M. (2008). Hydrologie générale et analyse fréquentielle, 160p.
- DISSOU A. (1986). Etude de l'hydrographie de l'Ouémé, 24p.
- FAO. (1996). Crues et apports: Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. Rome, 265p.
- GAILLARD D., RANCHET J., BERETERBIDE J. (2006). Guide technique de l'assainissement routier. France 93p.
- HIEN E. Y. (2012). Mémoire de dimensionnement hydraulique et structural d'un ouvrage de franchissement sur l'axe Botou-Boulel dans la région Est du Burkina Faso. Ouagadougou 21E, 135p.

- HOUNKPATIN J. N. (2013). Maîtrise des ressources pour l'agriculture dans la basse vallée de l'Ouémé, 23p.
- MAIRIE DE DANGBO (2009). Plan de développement communal, 65p.
- MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DU TRANSPORT (2008). Procédure de conception des routes. Royaume du Maroc, PP.8-32.
- NOMBRE J. (2013). Mémoire de vérification et dimensionnement d'un hydraulique et structural d'un ouvrage de franchissement de section 4 x (3.00 x 3.00). Ouagadougou 2IE, 68p.
- ZOUNGA D. K. (2012). Etude des variabilités climatiques dans la basse vallée de l'Ouémé, 194p.