



# Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGENIEUR 2IE  
AVEC GRADE DE MASTER  
OPTION : **Génie Civil et Hydraulique**

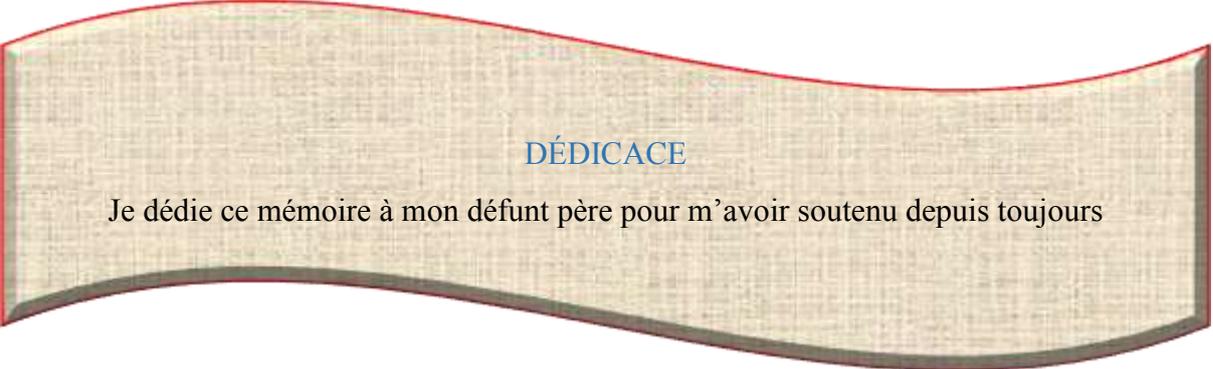
-----  
Présenté et soutenu publiquement le 09 Juillet 2019 par :  
**NIKIEMA Issa (2015 0477)**

**Jury d'évaluation**

Dr Malicki ZOROM (Président du jury)  
Dr FOWÉ TAZEN (Examineur)  
M. Célestin OVONO MEZUI (Examineur)

**Travaux dirigés par :**

M. Paul KABORE (Externe)  
M. Moussa LO (Interne)



**DÉDICACE**

Je dédie ce mémoire à mon défunt père pour m'avoir soutenu depuis toujours

## REMERCIEMENTS

Notre profonde gratitude aux personnes physiques ou morales qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce document.

Mes remerciements vont tout d'abord au Directeur Général de la DGIH Monsieur Patrice O. GUISSOU pour m'avoir accueillie au sein de la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH) pour mon stage.

Monsieur SEGDA Koudougou Achille, Directeur de la Maintenance des Ouvrages Hydrauliques pour sa disponibilité ;

J'adresse mes remerciements également à Monsieur Paul KABORE, mon maître de stage pour son encadrement et son suivi régulier tout au long de mon stage.

Je remercie mon directeur de mémoire, Monsieur Moussa LO pour son encadrement pour sa disponibilité et son accompagnement durant tout le stage.

Je remercie aussi le Docteur Dial NIANG pour son encadrement et sa disponibilité.

Je remercie également Monsieur TANGA, pour ses précieux conseils.

Mes remerciements vont également à l'endroit du Docteur Justine YOFE/TIRAOGO pour ses précieux conseils.

Je remercie tout le corps professoral de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE) pour la qualité de la formation qui nous a été dispensée durant tout notre cursus ainsi que tout le personnel de la DGIH.

Mon frère Mohamadi NIKIEMA et à ma sœur Aminata SAWADOGO/NIKIEMA pour leurs soutiens illimités ;

Je remercie tous mes amis et proches pour leur aide.

## RÉSUMÉ

La présente étude a été menée dans la province du Gourma en zone Soudano-sahélienne burkinabè plus particulièrement dans le village de Dianga. Il s'agit d'une région fragile subissant les effets combinés des aléas climatiques et de l'action de l'Homme. Dans l'optique d'un soutien des populations face aux impacts des changements climatiques, le gouvernement burkinabè à travers le Programme National de Développement Économique et Social (PNDS) a initié un important projet de construction ou de réhabilitation d'ouvrages à vocation hydro-agricole et pastorale. C'est dans ce contexte que l'édification du barrage de Dianga a été retenue en vue d'aménager des périmètres agricoles, de favoriser le développement de l'élevage et d'augmenter la production halieutique.

Pour mener cette étude, nous avons élaboré une démarche méthodologique basée essentiellement sur des études hydrologiques, de génie civil en vue de quantifier les apports et de dimensionner l'ensemble des éléments constituant cet ouvrage de stockage et de comparer les deux variantes de déversoir.

Ce barrage calé à l'exutoire d'un bassin versant d'une superficie de 430 km<sup>2</sup> présente une capacité de stockage d'environ 2,1 millions de m<sup>3</sup> (au PEN) et servira essentiellement à irriguer 5 ha de terre et à abreuver les animaux.

La digue est en terre homogène de longueur de 806 m et de largeur en crête de 3,5 m. Sa côte est de 286 m avec une hauteur maximale de 4,5 m et les talus amont et aval sont de 1V/2H.

Le déversoir d'une longueur de 223 m de long occupe une position centrale et permettra d'évacuer un débit centennal de 327 m<sup>3</sup>/s. À l'aval de ce déversoir se trouve un bassin de dissipation à ressaut du type II. Le coût de l'ouvrage est d'environ 607 millions de francs CFA pour le déversoir Radier Submersible et 674 millions pour le déversoir Creager.

Mots-clés :

1. Étude comparative
2. Barrage
3. Déversoir Creager
4. Déversoir radier
5. Dianga

## ABSTRACT

This study was conducted in the Gourma province in the Sudano-Sahelian zone of Burkina Faso, particularly in the village of Dianga. It is a fragile region undergoing the combined effects of climate hazards and human action. With a view to supporting populations in the face of the impacts of climate change, the Burkina Faso government, through the National Program for Economic and Social Development (PNDS), has initiated a major project to build or rehabilitate water projects, agricultural and pastoral. It is in this context that the construction of the Dianga dam was chosen to develop agricultural perimeters, promote the development of livestock and increase the production of fish.

To conduct this study, we developed a methodological approach based essentially on hydrological studies, civil engineering to quantify the contributions and to size all the elements constituting this storage structure and to compare the two weir variants.

This dam stuck at the outlet of a catchment area with an area of 430 km<sup>2</sup> has a storage capacity of about 2.1 million m<sup>3</sup> (at PEN) and will serve mainly to irrigate 5 ha of land and to water the animals.

The dike is in homogeneous earth of length 806 m and of peak width 3,5 m. Its coast 286 m With maximum height 4,5 m and upstream and downstream slopes are 1V / 2H.

The weir, 223 m long, is centrally located and will evacuate a centennial flow of 327 m<sup>3</sup> / s. Downstream of this weir is a Type II breakwater. The cost of the work is approximately 607 millions CFA francs for the submerged weir and 674 million for the Creager weir.

Keywords :

1. Comparative study
2. Dam
3. Spillway Creager
4. Weir debris
5. Dianga

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

SERAT	Bureau d'Études d'Ingénierie et de Maitrise d'Œuvre
PNDES	Programme National de Développement Économique et Social
CIEH	Comité Interafricain des Études Hydrauliques
CIGB	Comité International des Grands Barrages
DGIH	Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques
EIER	École Inter-États d'Ingénieurs d'Équipement Rurale
FAO	Fonds des Nations Unies pour l'Agriculture de l'Alimentation
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
ONBAH	Office National de Barrages et des Aménagements Hydro-agricoles
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PHE	Plan des Hautes Eaux
PEN	Plan d'Eau Normal
IRAT	Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières
PCD	Plan Communal de Développement

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
RÉSUMÉ.....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	v
TABLE DES MATIÈRES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
LISTE DES FIGURES .....	ix
I. INTRODUCTION.....	1
II. SYNTHÈSE DES ÉTUDES DE BASES .....	2
<b>II.1 Étude socio-économique .....</b>	<b>2</b>
II.1.1 L’agriculture .....	2
II.1.2 L’élevage .....	2
<b>II.2 Études géotechniques .....</b>	<b>3</b>
II.2.1 Sol de fondation sous la digue .....	3
II.2.2 Zones d’emprunts d’argile .....	3
II.2.3 Zones d’approvisionnement des autres matériaux .....	3
<b>II.3 Notice d’impact environnemental.....</b>	<b>4</b>
II.3.1 Les impacts négatifs sur l’environnement .....	4
II.3.2 Les impacts positifs sur l’environnement .....	4
II.3.3 Composantes du plan de gestion environnemental et social.....	4
III. MATÉRIELS ET MÉTHODES .....	5
<b>III.1 Localisation de la zone d’étude.....</b>	<b>5</b>
III.1.1 Climat et géomorphologie .....	6
III.1.2 Sols .....	7
III.1.3 La végétation, la faune et l’hydrographie.....	7
III.1.4 Données socio-économiques .....	8
<b>III.2 Matériels .....</b>	<b>8</b>
<b>III.3 Méthodes.....</b>	<b>9</b>
III.3.1 Études hydrologiques .....	9
III.3.2 Étude de la cuvette.....	13
III.3.3 Étude de la digue .....	16
III.3.4 Étude de deux variantes (l’évacuateur de crue).....	20
III.3.5 Étude des ouvrages annexes .....	25

---

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

III.3.6	Étude comparative des variantes (déversoirs) .....	27
IV.	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS .....	28
<b>IV.1</b>	<b>Étude hydrologique.....</b>	<b>28</b>
IV.1.1	Caractéristiques physiques et géomorphologiques du bassin versant .....	28
IV.1.2	Analyse fréquentielle.....	28
IV.1.3	Débit de projet.....	29
IV.1.4	Crue de sécurité.....	29
IV.1.5	Crue de rupture.....	29
IV.1.6	Apports liquides du bassin versant.....	30
<b>IV.2</b>	<b>Étude de la cuvette .....</b>	<b>30</b>
IV.2.1	Courbe hauteur-volume/hauteur-surface .....	30
IV.2.2	Caractéristiques de la cuvette au PEN et au PHE .....	31
IV.2.3	Revanche libre.....	31
IV.2.4	Simulation de la retenue .....	31
IV.2.5	Évaluation des besoins .....	31
IV.2.6	Évaluation des pertes de retenue .....	32
<b>IV.3</b>	<b>Étude de la digue.....</b>	<b>34</b>
IV.3.1	Protections des talus et de la crête.....	36
IV.3.2	Stabilité des pentes de la digue .....	37
<b>IV.4</b>	<b>Étude de deux variantes (évacuateur de crue) .....</b>	<b>38</b>
IV.4.1	Déversoir poids de type Creager .....	38
IV.4.2	Déversoir en radier submersible .....	41
<b>IV.5</b>	<b>Étude des ouvrages annexes .....</b>	<b>44</b>
IV.5.1	Bassin de dissipation et chenal d'évacuation .....	44
IV.5.2	Murs bajoyers.....	45
IV.5.3	Diguettes de protection.....	47
IV.5.4	Ouvrage de prise.....	47
IV.5.5	Ouvrage de vidange.....	48
<b>IV.6</b>	<b>Étude comparative des deux variantes.....</b>	<b>48</b>
V.	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....	52
VI.	BIBLIOGRAPHIE .....	53
VII.	ANNEXES .....	54

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Pentés de talus en fonction de la hauteur du barrage .....	18
Tableau 2: Choix de la position du déversoir .....	20
Tableau 3: Caractéristiques du bassin versant.....	28
Tableau 4: Quantité d'eau en fonction de la période de retour. ....	29
Tableau 5: Débit de projet.....	29
Tableau 6: Apports liquides en années sèches .....	30
Tableau 7: Caractéristiques de la cuvette .....	31
Tableau 8: Évaluation des besoins .....	32
Tableau 9: Évaporation dans la retenue .....	32
Tableau 10: Perte par infiltration .....	33
Tableau 11: Pertes dans la cuvette .....	33
Tableau 12: Caractéristiques de la digue.....	35
Tableau 13: Caractéristiques de l'évacuateur de crue .....	38
Tableau 14 : Résultats du calcul des paramètres de stabilité du Creager.....	39
Tableau 15: Caractéristiques du radier submersible.....	41
Tableau 16 : Résultats du calcul des paramètres de stabilité du radier submersible.....	42
Tableau 17: Caractéristiques du Bassin de dissipation et chenal d'évacuation .....	45
Tableau 18: Caractéristiques du bajoyer .....	46
Tableau 19: Caractéristiques géométriques et stabilité des bajoyers .....	46
Tableau 20: Caractéristique des diguettes de protection.....	47
Tableau 21: Caractéristique de l'ouvrage de vidange.....	48
Tableau 22: Résultats de la contribution des déversoirs à la sécurité du barrage .....	48
Tableau 23: Appréciation de la charge d'entretien des déversoirs .....	49
Tableau 24: Technologie de mise en œuvre et de la durabilité des déversoirs .....	49
Tableau 25: synthèse des coûts du projet.....	49
Tableau 26: Comparaison suivant les différents paramètres.....	51
Tableau 27 : Plan de mise en œuvre des mesures d'atténuation.....	56

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Effectifs du cheptel de la commune de Tibga.....	2
Figure 2: Situation géographique du barrage de Dianga.....	5
Figure 3: Bassin versant de Dianga.....	6
Figure 4: Forces agissantes sur le déversoir Creager.....	21
Figure 5: Forces agissantes sur le déversoir Radier.....	24
Figure 6: Courbe hauteur-volume.....	30
Figure 7: Courbe hauteur-surface.....	30
Figure 8: Courbe d'exploitation de la retenue en année quinquennale sèche.....	34
Figure 9: Comparaison des coûts.....	50
Figure 10 : Système de charge Bc.....	108
Figure 11 : Système de charge Bt.....	109
Figure 12 : Charge militaire Mc120.....	110
Figure 13 : Diffusion de la charge d'une roue.....	111
Figure 14 : Rectangle de répartition de la roue de convoi.....	111
Figure 15 : Chevauchement des rectangles d'impact.....	112

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

**FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE DIANGA**

I. LOCALISATION		
Village : DIANGA		
Commune : TIBGA		
Province : GOURMA		
Région : EST		
Coordonnées UTM du site : 179601 EST ; 1362568 NORD		
Désignation	Unité	Caractéristiques
II. BASSIN VERSANT		
Superficie	km <sup>2</sup>	430
Pluviométrie moyenne annuelle	mm	806,2
Débit de projet	m <sup>3</sup> /s	326,8
Apports en année décennale sèche	m <sup>3</sup>	39 365 878
III. CUVETTE		
Côte PHE	m	284,5
Côte PEN	m	283,75
Volume d'eau au PHE	m <sup>3</sup>	3 720 407,84
Volume d'eau au PEN	m <sup>3</sup>	2 068 904,76
Superficie au PHE	ha	243,245199
Superficie au PEN	ha	201,676312
IV. DIGUE		
Type	-	Homogène en argile
Côte de calage	m	286
Hauteur maximale par rapport au lit mineur	m	4,5
Largeur en crête	m	3,5
Longueur (déversoir + digue)	m	806
Pente du talus amont = Pente du talus aval	-	1H/2V
VI. OUVRAGE DE PRISE ET DE VIDANGE		
Position		Rive gauche et droite
Nature et diamètre		acier
Côte amont	m	282,25/281,5
Côte aval	m	variable
V. DÉVERSOIRS		
Hauteur	m	2,25
Côte crête	m	283,75
Charge maximale sur le seuil	m	0,8
Longueur déversant	m	223
Type	--	Radier Submersible
Type de bassin de dissipation	--	Ressaut de type II
Largeur bassin	M	3,7
VI. COÛT DES TRAVAUX	FCFA	607 259 268

## I. INTRODUCTION

Situé en zone sahélienne, le Burkina Faso est un pays continental d'une superficie estimée à 274 200 km<sup>2</sup>. Il est situé au cœur de l'Afrique occidentale et son climat est caractérisé par une faible pluviométrie sur une grande partie du territoire. L'économie du pays repose essentiellement sur l'agriculture et l'élevage. Depuis plusieurs décennies le pays est confronté aux changements climatiques rendant fragile son agriculture. C'est dans ce cadre que le Programme National de Développement Économique et Social (PNDES) a inscrit la mobilisation de la ressource en eau de surface en milieu rural dans son programme pour la mise en œuvre de la stratégie nationale de développement durable de l'agriculture irriguée (**PCD, 2016**). Pour la mise en œuvre d'un tel projet de construction de barrage, le choix du type de déversoir représente un élément capital. Ceci est d'autant plus important que la sécurité de l'ouvrage doit être assurée par un dispositif qui permet d'évacuer les crues extrêmes (**COMPAORE, 1996**).

L'évacuateur de crue constitue l'organe principal de sécurité des barrages, son rôle est d'assurer le passage des eaux en surplus dans des conditions favorables à la sécurité du barrage et sans créer de risque d'érosion ou d'inondation en aval. Cependant, le coût de cet ouvrage reste une préoccupation majeure pour les concepteurs.

Compte tenu du besoin d'assurer le désenclavement des villages situés sur les deux rives du barrage, mais compte tenu également de l'aspect économique et de la durabilité de l'ouvrage, une comparaison se fera entre un déversoir type routier et un déversoir poids de profil Creager.

Le projet de réalisation du barrage de Dianga (Commune de Tibga) s'inscrit dans cette logique afin de réduire principalement la pauvreté dans un milieu relativement fragile à cause des effets néfastes des changements climatiques. Ce mémoire a pour thème : «Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)».

L'objectif général est de fournir un avant-projet détaillé du barrage de Dianga. Il s'agira spécifiquement de faire :

- Synthèse des études de bases (socio-économique; topographiques etc) ;
- Études Hydrologiques; Conception et Dimensionnement du Creager et du Radier ;
- Étude Comparative (technique et financière) des deux Variantes ;
- Notice d'Impact Environnemental et Social.

## II. SYNTHÈSE DES ÉTUDES DE BASES

### II.1 Étude socio-économique

#### II.1.1 L'agriculture

L'agriculture de la commune de Tibga est dominée par une céréaliculture pluviale de subsistance. La production ne couvre pas plus de 75% de ses besoins en céréales. La Commune a été identifiée en 2018 comme une zone à risque avec un besoin d'intervention de vente de céréales à prix social.

Les principales spéculations du village de Dianga sont : le sorgho rouge et blanc, le mil, le maïs, niébé, arachide, coton, riz, pois de terre, manioc, oseille, et le gombo.

En fonction de la disponibilité de l'eau, les acteurs produisent en contre saison de l'oignon, des choux, des carottes, des aubergines, la laitue, etc.

#### II.1.2 L'élevage

L'élevage est très important dans le village de Dianga. Aux dires des enquêtés, chaque famille a au moins un bœuf et des petits ruminants. Du reste, le village est le seul de la commune de Tibga à avoir un puits pastoral et l'un des trois sur les 42 villages à avoir un parc de vaccination.

En l'absence de données statistiques sur le cheptel au niveau du village, l'étude utilisera celles de la commune de Tibga. En 2017 la répartition du cheptel était comme présenté dans la figure 1 suivante :

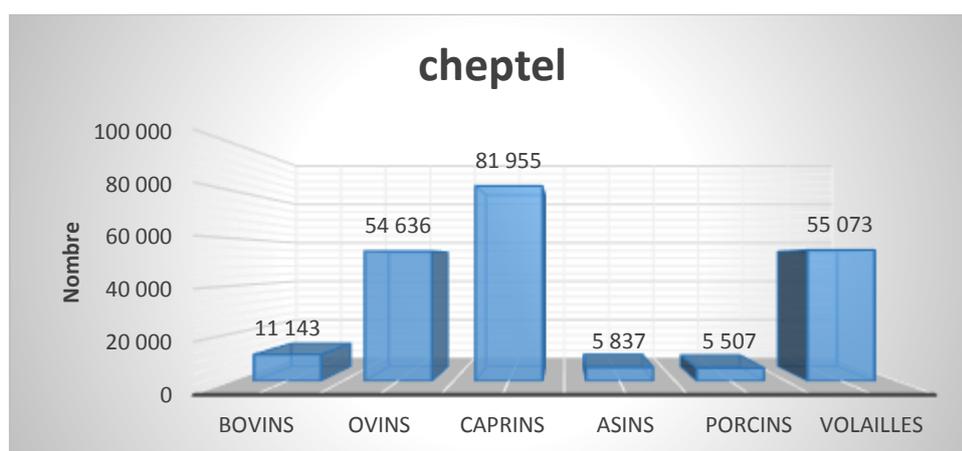


Figure 1: Effectifs du cheptel de la commune de Tibga. (SERAT/BERCI, 2017)

Nous remarquons un plus fort pourcentage de Caprins.

## II.2 Études géotechniques

### II.2.1 Sol de fondation sous la digue

Le long de l'axe de la digue, il a été creusé cinq (5) puits à ciel ouvert de 1,50 m à 3,50 m de profondeur. De la rive gauche vers la rive droite le sol de fondation est caractérisé comme suit :

#### A. Appui rive gauche

À ce niveau, le puits F1 a été creusé au profil 8, le puits F2 au profil 16, et le puits F3 au profil 22. Ces trois puits vont de 2 m à 2,5 m. On y distingue deux types de matériaux :

- ❖ Première couche : elle est épaisse de 0,90m à 1,60 m après le décapage de 0,30 m à 0,50 m de terre végétale. Le matériau rencontré est de l'argile sableuse ou limoneuse.
- ❖ Deuxième couche : l'épaisseur examinée est de 1,30 m ; le matériau rencontré est du limon très peu plastique ou du sable limoneux.

#### B. Appui zone du déversoir et rive droite

Le puits F4 a été creusé au profil 28 et le puits F5 au profil 32. Dans cette zone, les puits sont de profondeur 1,50 m à 3,50 m ; le matériau rencontré est de l'argile sableuse ou limoneuse.

### II.2.2 Zones d'emprunts d'argile

Les études ont permis d'identifier une zone d'emprunt d'argile situé à environ 1 200 m de la digue.

Cinq puits ont été creusés à ciel ouvert de 1,00 m à 1,50 m de profondeur. Avant l'exploitation de cet emprunt, un décapage de 0,15 m à 0,30 m de terre végétale est recommandé. La superficie explorée étant de (300 m x 150 m) 45 000 m<sup>2</sup> et la couche exploitable de 1,15 m, on peut disposer de 51 750 m<sup>3</sup> de matériau de remblai argileux.

### II.2.3 Zones d'approvisionnement des autres matériaux

- ❖ Un site d'emprunt de graveleux latéritique : il a été prospecté et étudié à environ 2,00 km de la borne B2 de l'axe de la digue.

La couche exploitable est de 0.55 m, on peut disposer de 5 500 m<sup>3</sup> de matériau de graveleux latéritique.

- ❖ Le site des matériaux de construction :

Le gravier pour béton est rare au voisinage du site. Par contre on trouve du sable dans un cours d'eau, dans le village de ADABOLOKE à environ 8km du site (mauvaise route, coordonnées UTM : 182106/1354575). Les moellons latéritique se trouve à environ 3 km du site (coordonnées UTM : 178 285/1 360 037).

## II.3 Notice d'impact environnemental

### II.3.1 Les impacts négatifs sur l'environnement

Les impacts négatifs se répercuteront sur le milieu humain et biophysique. Il s'agit de/des :

- ❖ la coupe des arbres et la destruction de certains écosystèmes du milieu.
- ❖ l'insécurité, la pollution de l'air (gaz d'échappement, poussière), nuisances provoquées par la circulation des engins (faible portée et temporaires)
- ❖ la destruction de biens privés et des habitations situés dans l'emprise ou à proximité du projet impliquant ainsi le déplacement involontaire des populations ;

Des mesures d'atténuation ont, toutefois, été identifiées et analysées afin de réduire ou supprimer ces effets négatifs.

### II.3.2 Les impacts positifs sur l'environnement

Le projet, une fois réalisé, produira les impacts positifs suivants :

- ❖ l'intensification des productions agricole et piscicole ;
- ❖ l'amélioration des conditions de vie (qualité nutritionnelle) des populations de la zone - du projet ;
- ❖ le renforcement des capacités des producteurs et de leurs structures faîtières ;
- ❖ la création d'emplois ;
- ❖ le développement des AGR ;
- ❖ l'accroissement des revenus ;
- ❖ la fixation des jeunes dans la zone ;

### II.3.3 Composantes du plan de gestion environnemental et social

Le Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) est élaboré afin :

- ❖ d'atténuer les impacts négatifs ;
- ❖ de bonifier les impacts positifs ;
- ❖ d'accompagner les bénéficiaires pour qu'ils tirent meilleurs profits des aménagements réalisés.

L'objet de ce plan est de présenter les impacts les plus significatifs, les mesures d'atténuation, tout en présentant les institutions responsables de la mise en œuvre de ces mesures et le coût de celles-ci dans la mesure du possible, la période d'exécution des mesures et les lieux de leur application.

### III. MATÉRIELS ET MÉTHODES

#### III.1 Localisation de la zone d'étude

Le site du barrage relève du village de Dianga dans la commune de Tibga, province du Gourma.

L'accès au site se fait suivant l'itinéraire suivant :

On emprunte l'axe Ouaga Fada N'gourma (RN4) jusqu'à Fada, soit 220 km. De Fada, on emprunte la RN18 jusqu'à Nanouk sur environ 40 km. De Nanouk on continue sur la RN18 jusqu'à l'embranchement gauche avec la piste qui mène à Dianga sur environ 10 km. On estime à 270 km, la distance qui sépare Dianga de Ouagadougou suivant l'itinéraire considéré.

Les coordonnées UTM de l'axe de la digue, prises au GPS et confirmées par la carte IGB au 1/200.000<sup>ème</sup> de Fada sont les suivantes : X =179601 Est et Y=1362568 Nord. Les figures 2 et 3 présentent la localisation et le bassin versant de la zone d'étude.

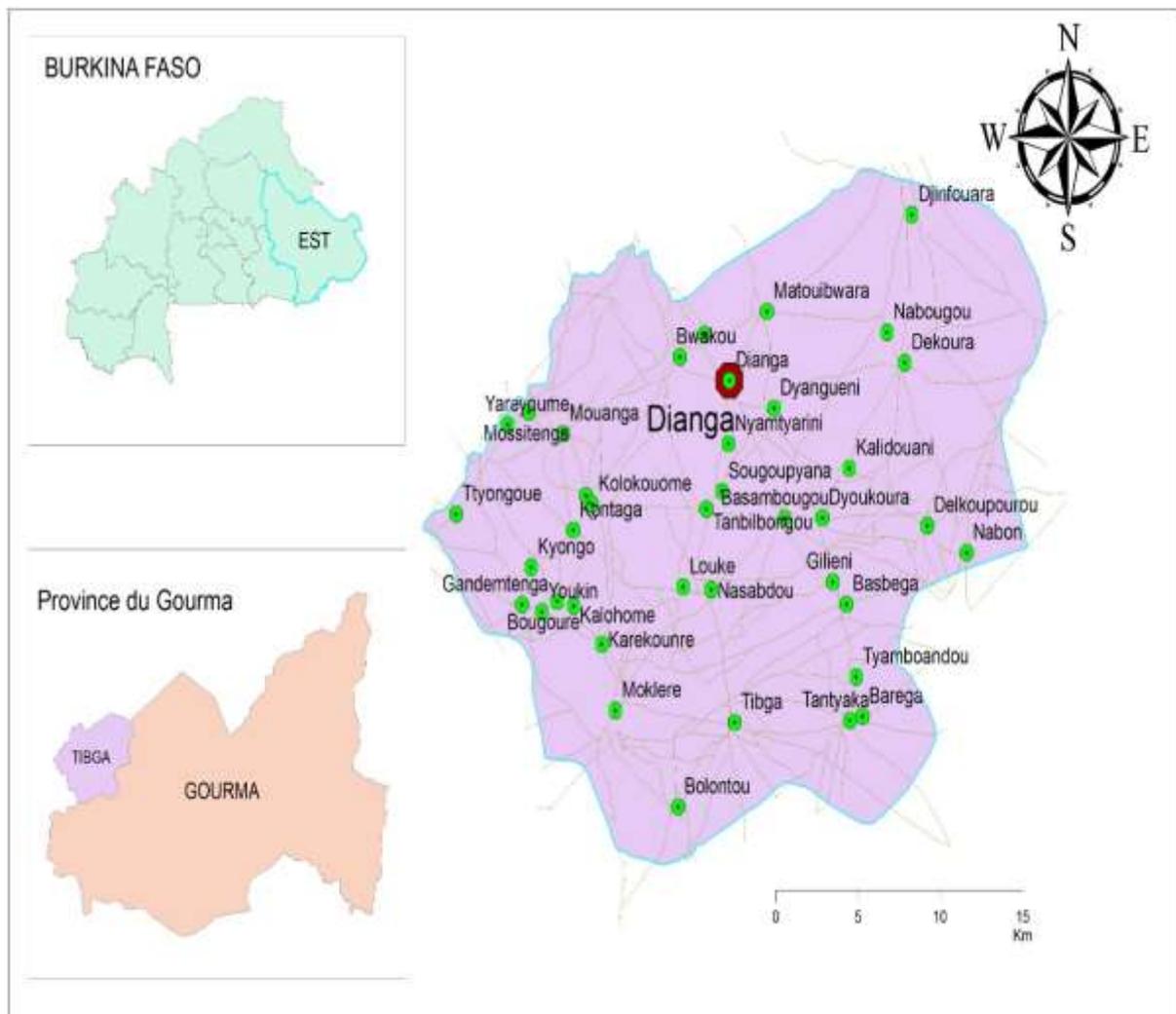


Figure 2: Situation géographique du barrage de Dianga

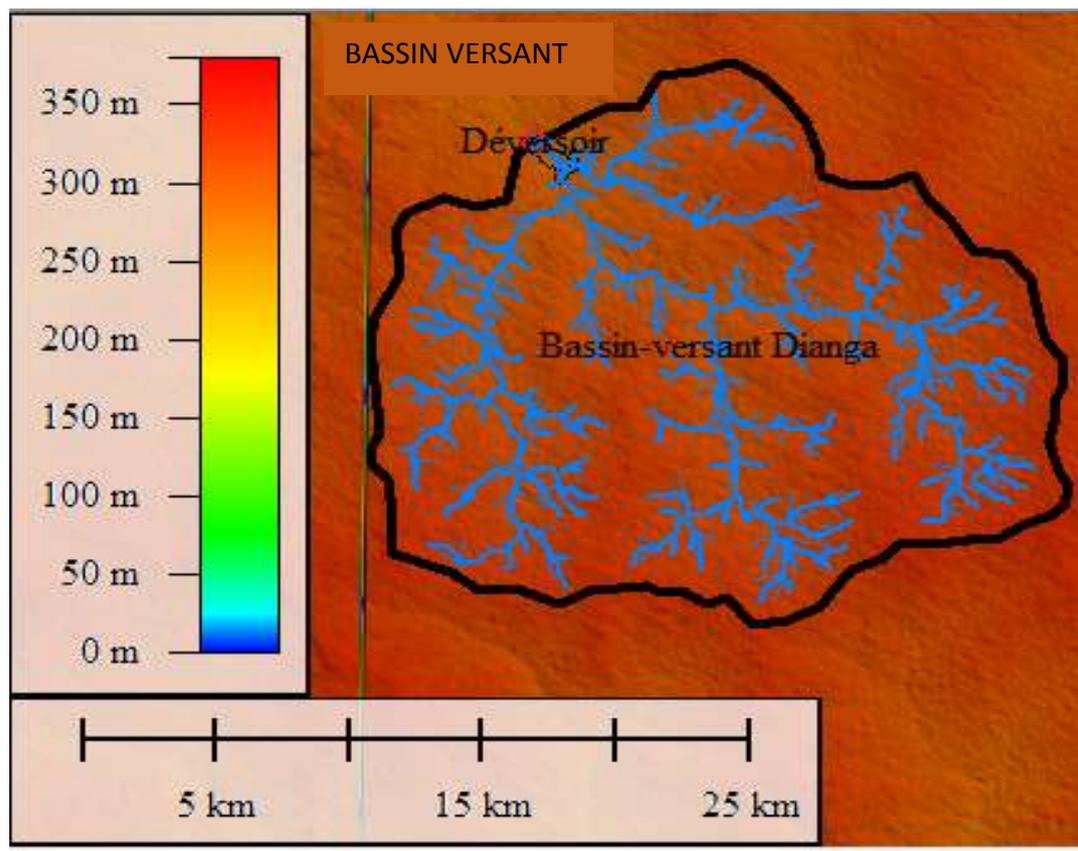


Figure 3: Bassin versant de Dianga.

### III.1.1 Climat et géomorphologie

La zone de Fada et une partie de la commune de Tibga sont situées dans la zone climatique de type soudano-sahélien. Bien que la pluviométrie moyenne de Fada soit supérieure à 750 mm, les récentes actualisations de courbes isohyètes du pays par la météo, présentent le site de Dianga dans une zone de pluviométrie comprise entre 501 mm et 700 mm. C'est-à-dire que l'évolution de la zone sahélienne vers le Sud s'effectue progressivement. Au regard de ce qui précède, nous considérerons Dianga comme une zone Sahélienne caractérisée par l'existence de deux saisons alternées dont :

- Une saison sèche qui va d'octobre à Avril (7 mois),
  - Et une saison pluvieuse qui s'étend généralement de Mai à Septembre (5 mois).
- (SERAT/BERCI, 2017).**

La température moyenne annuelle se situe autour de 28°C avec des variations mensuelles pouvant aller de 20°C en Décembre/Janvier à 40°C en Mars/Avril. Les vents dominants sont la mousson (vent humide soufflant de direction : Sud-Ouest/Nord-Est pendant la saison

pluvieuse) et l'harmattan (vent sec souvent chargé de poussière et soufflant dans la direction Nord-Est/Sud-Ouest en saison sèche).

Le relief de la commune est caractérisé par une pénéplaine arasée par quelques rares plateaux culminants entre 200 et 300 mètres.

### III.1.2 Sols

Les sols sont essentiellement ferrugineux tropicaux, de type argilo-latéritique et reposent sur un socle granitique fissuré. On y rencontre également :

- Les sols sablo argileux qui sont généralement utilisés pour les cultures du coton, de sorgho et de mil ;
- Les sols sablonneux, utilisés pour les cultures d'arachide ;
- Les sols argileux, sont des sols lourds de bas-fonds surtout aptes pour la culture de riz.

**(SERAT/BERCI, 2017)**

On note une forte pression foncière sur l'exploitation des sols associés à la dégradation naturelle due à l'érosion hydrique et éolienne du fait de l'absence de couvert végétale conséquent.

### III.1.3 La végétation, la faune et l'hydrographie

Les formations végétales rencontrées sont caractérisées par la prédominance d'un tapis herbacé que surplombent des ligneux arbustifs ou arborescents. Ainsi on distingue :

- Une savane arbustive dominée par les combrétacées. Ces formations s'imposent sur les cuirasses situées dans la zone de plateaux. En dehors des Combrétacées dominants, on y rencontre des espèces comme *Piliostigma reticulatum*, *Balanites aegyptiaca*, *Guiera senegalensis*, *Ziziphus mauritiana*, *Sclerocarya birrea*, *Pterocarpus erinaceus*.
- Une savane arborée dominée principalement par le *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa* et *Lannea microcarpa*. Ce type de formation se développe préférentiellement sur des sols sableux à sablo-argileux.
- De plus on assiste à une pression sur la ressource végétale du fait des exploitations incontrôlées entraînant une dégradation du couvert végétal. Cependant, on dénombre quelques forêts répertoriées dans les terres hautes et les galeries.

**(SERAT/BERCI, 2017).**

La faune, constituée actuellement de petits gibiers, a connu une forte perturbation de son milieu naturel à cause des activités anthropiques. On rencontre des biches, des porcs-pics, singes, phacochères.

Les ressources en eau de la commune se composent de cours d'eau saisonniers et quelques plans d'eau. Les principaux cours d'eau sont le Wéré, le Guinpokin, le Taabilin, le Yargbanka et le Kanré.

La commune compte essentiellement deux barrages dont l'un temporaire et l'autre perenne.

Il s'agit respectivement du barrage de Tibga et de celui de Guilliéni.

#### III.1.4 Données socio-économiques

Au dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH) de 2006, la population de DIANGA directement concernée par le projet d'aménagement était de 1 098 habitants. Le nombre de ménage était 130 ; ce qui correspond à une moyenne de 8 personnes par ménage (moyenne nationale 5,93). En appliquant le taux d'accroissement annuel enregistré par sa province d'appartenance, le Gourma (3,04%), la population serait de 1526 habitants en 2017. Plusieurs ethnies cohabitent dans le village de DIANGA, ce sont : les Gourmantchés, les Mossis, les Peulhs. Les langues les plus parlées sont le Gourmantchéman et le Mooré.

La commune est en majorité animiste.

L'économie est essentiellement basée sur l'élevage et l'agriculture.

#### III.2 Matériels

- **Un GPS** pour relever les coordonnées des points importants sur le site.
- **Google Earth et Global Mapper V.16** pour la délimitation du bassin versant.
- **Le logiciel Arcgis** pour l'élaboration des différentes cartes.
- **Le logiciel HYFRAN Plus** pour les traitements statistiques de la pluviométrie.
- **Le logiciel CLIMWAT 2.0 et CROPWAT 8.0 de la FAO** pour la détermination des besoins en eau des cultures.
- **Le logiciel Géoslope v12** pour la vérification de la stabilité des talus de la digue.
- **Le logiciel autocad** pour l'élaboration des plans.

### III.3 Méthodes

#### III.3.1 Études hydrologiques

##### A. Caractéristiques physiques et géomorphologiques du bassin versant

- ❖ **Périmètre (P) et surface (S) du bassin versant** : ces deux paramètres du bassin ont été obtenus à partir du logiciel Global Mapper
- ❖ **Indice de forme ou de compacité (KG) du bassin versant** : Il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie et permet de comparer entre eux les bassins de superficie identique. Le coefficient de compacité de GRAVELIUS est exprimé à partir de l'équation 1 :

$KG = \frac{0.282 * P}{\sqrt{S}} \quad (1)$	S=superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> ) P=périmètre (Km) KG=Indice de compacité (m)
---	---

- ❖ **Rectangle équivalent** :

C'est le rectangle ayant la même surface et le même périmètre que le bassin versant, sa longueur, ainsi que sa largeur sont données par les équations 2 et 3 :

$Leq = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4} \quad (2)$	S=superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> ) P=périmètre (Km) Leq=Longueur du rectangle équivalent (Km) leq=Largeur du rectangle équivalent (Km)
$leq = \frac{S}{Leq} \quad (3)$	

- ❖ **Densité de drainage** : La densité de drainage est le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la surface du bassin versant. Elle est obtenue à partir de l'équation 4 :

$Dd = \frac{\sum Li}{S} \quad (4)$	S=superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> ) $\sum Li$ =Longueur totale des cours d'eau (Km)
------------------------------------	--

- ❖ **Pente transversale moyenne** : Elle est déterminée en faisant la moyenne de quatre à six pentes transversales.
- ❖ **Répartition hypsométrique** : La courbe hypsométrique du bassin versant donnant le pourcentage de la superficie S du bassin versant située au-dessus d'une altitude donnée H, celle-ci permettra de déterminer l'Indice global de pente (Ig).

❖ **Indice global de pente (Ig)** Il est l'indice qui caractérise le relief du bassin et est défini par l'équation 5 :

$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \quad (5)$	<p>H5% : altitude à 5% (m)                  H95% : altitude à 95% (m)                  L : Largeur du rectangle équivalent (Km)</p>
--	---

❖ **Indice global de pente corrigé (IgCor)** : La pente transversale est trop différente de la pente longitudinale, on calcule alors un Indice global de pente corrigé (IgCor). Il est donné par l'équation 6 :

$I_{gcorr} = \frac{[(n-1) \times I_g + I_t]}{n} \quad (6)$	<p>n=Coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent                  Ig=Indice global de pente (m/Km)                  It=Pente transversale (m/Km)</p>
--	--

❖ **Dénivelée spécifique (Ds)**

C'est le produit de l'indice global de pente par la racine carré de la superficie du bassin versant.

$D_s = I_g * S^{0.5} \quad (7)$	<p>Ig=Indice global de pente (m/Km)                  S=superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)</p>
---------------------------------	--

### *B. Analyse fréquentielle des pluies*

Les analyses fréquentielles des pluies ont été faites grâce aux données pluviométriques recueillies à la station de Fada N'gourma.

Les pluies annuelles (1970 – 2016) ont été ajustées à partir de la loi de Gauss dont la fonction de répartition est décrite par l'équation 8 :

$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2n}} * \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2u^2}} du \quad (8)$ <p align="center">avec <math>u = \frac{x - \bar{x}}{S}</math></p>	<p>U=la variante réduite  <math>\bar{x}</math>=la moyenne                  S=l'écart type</p>
--	---

Quant aux pluies maximales journalières (1970 – 2016) , elles ont été traitées à partir de la loi de Gumbel dont la fonction de répartition est donnée par l'équation 9:

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

$F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}} \quad (9)$	$x_0$ = paramètre de position $\frac{1}{a}$ = paramètre d'échelle
---------------------------------------	--

Les calculs ont été faits sur Excel puis vérifiés à l'aide du logiciel HYFRAN Plus. Les résultats, consignés à l'Annexe II (Etude hydrologique) permettent de définir pour les pluies annuelles et les maximales journalières les quantiles caractéristiques.

*C. Débit de projet*

La détermination de la crue de projet consiste à déterminer le débit de crue pour lequel on souhaite protéger l'ouvrage (FAO, 1998). Le bassin versant n'ayant pas été jaugé, les méthodes spécialement mises au point pour les petits bassins versants de l'Afrique occidentale et centrale sont celles utilisées pour la prédétermination des débits de crue et des apports. Les deux méthodes retenues sont celles de l'ORSTOM et du CIEH. Le détail de calcul est donné en l'Annexe II (Étude hydrologique).

❖ Méthode ORSTOM

Elle s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km<sup>2</sup>, relevant de la zone sahéenne et de la zone tropicale sèche (FAO, 1998). La zone d'étude étant située en zone sahéenne, avec un bassin peu boisé d'une couverture assez abondante et une pente du terrain relativement faible on admet que le bassin versant appartient à la classe RI (P3) des catégories de perméabilité, le débit de crue décennal est déterminé par l'équation 10 :

$Q_{r10} = A * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}}$	$Q_{r10}$ =Débit de pointe du ruissellement superficiel décennal (m3/s) $Q_{10}$ =Débit de crue décennal par la méthode ORSTOM (m3/s) S=la superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> ) $P_{10}$ =pluie journalière maximale décennale (mm) $K_{r10}$ =coefficient de ruissellement décennal obtenu par interpolation $K_{r70}$ - $K_{r100}$ $T_b$ =temps de base de la crue décennale (mn) A=coefficient d'abattement de VILLAUME $\alpha$ =Coefficient de pointe pris égal à 2,6 m=Coefficient majorateur égal à 1,03
$Q_{10} = m * Q_{r10} \quad (10)$	

❖ **Méthode CIEH**

Elle a été établie sur la base d'un échantillon de 162 bassins versants répartis en Afrique francophone, peut être employée sur des bassins allant jusqu'à 1000 km<sup>2</sup>, relevant de la zone tropicale sèche ou sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Elle est donnée par l'équation 11 :

$Q_{10} = a * S^s * Pan^p * Ig^i * Kr^k * Dd^d \quad (11)$	<p>a : Constante de la régression</p> <p>S : la superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)</p> <p>Pan : Pluviométrie annuelle (mm)</p> <p>Ig : Indice global de pente corrigé (m/km)</p> <p>Kr10 : Coefficient de ruissellement décennal</p> <p>Dd : Densité de drainage (km<sup>-1</sup>)</p> <p>S, p, i, k, d : paramètres de régression</p>
--	---

Nous utiliserons alors les formules de régression linéaire suivantes, qui sont bien indiquées pour le Burkina Faso et pour la zone du projet :

- ✓ Équation N°39 : Formulation pour le Burkina Faso en fonction de S et Kr10
- ✓ Équation N°40 : Formulation pour le Burkina Faso en fonction de S, Ig et Kr10

**(FAO, 1996).**

La valeur du débit est obtenue en faisant la moyenne des débits obtenus avec les deux équations.

❖ **La crue de sécurité**

C'est le débit que peut évacuer le déversoir avec des dommages mineurs sur la digue. Elle est donnée par l'équation 12 :

$Q_s = \frac{[P_{jmax}(m) * S(m^2) * A * \alpha]}{Tb_{10}(s)} \quad (12)$	<p>P<sub>jmax</sub>: Pluie journalière max</p> <p>A : coefficient d'abattement</p> <p>Tb<sub>10</sub> : temps de base</p> <p>S : Superficie du bassin versant</p> <p>α: Coefficient de pointe = 2,6</p>
---	---

❖ **La crue de rupture du barrage**

Selon le Comité International des Grands Barrages (CIGB), la crue de rupture d'un barrage peut être approchée par l'équation 13 :

$Q_{rupt} = 2 * l * (Rt + 0,20)^{1,5} + 0,15 * L \quad (13)$	$Q_{rupt}$ : crue de rupture du barrage en m <sup>3</sup> /s L : longueur de la digue sans déversoir (m) l : longueur du déversoir (m) Rt : revanche totale (m)
--	--

*D. Étude des apports*

La détermination des apports consiste à évaluer les apports d'eau du bassin versant afin de s'assurer du remplissage de la retenue sur un cycle annuel (Puech et Chabi-Gonni, 1983). L'estimation des apports en eau se fera en appliquant la méthode de Rodier (Rodier, 1975). Cette méthode permet de déterminer les coefficients d'écoulement du bassin versant étudié par comparaison avec un bassin type étudié par Rodier et d'estimer les apports à travers l'équation suivante (14) :

$Ke = \frac{\text{Écoulement}}{\text{Quantile}} \quad (14)$ <p><i>Et</i></p> $V_{apports} = Ke * P * SBV \quad (15)$	V : Volume des apports (m <sup>3</sup> ) SBV : Surface du bassin versant (m <sup>2</sup> ) P : Quantile pluviométrique considéré (m) Ke : Coefficient d'écoulements obtenus par les abaques de RODIER
--	--

III.3.2 Étude de la cuvette

*A. Courbe hauteur-volume-surface*

Les données topographiques, nous permettent de reconstituer la courbe Hauteur-Volume du barrage. Le volume partiel est obtenu par la relation suivante : (GUEYE, 2012).

$V_{i+1} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} * h \quad (16)$	$V_{i+1}$ : volume du bassin versant en m <sup>3</sup> $S_i$ : surface du plan d'eau correspondant à la courbe i (ha) $S_{i+1}$ : surface du plan d'eau correspondant à la courbe i+1 (ha) h : dénivelée entre deux courbes de niveau n et i+1 (m)
--	---

### *B. Calage du plan d'eau normal (PEN)*

Le calage du Plan d'Eau Normal (PEN) permet de définir la capacité de stockage de la retenue. Ainsi donc, il doit tenir compte, des besoins en eau, des contraintes du site, des aménagements en amont de la digue.

Étant donné la forte demande en eau des futures bénéficiaires de l'ouvrage et la force des apports moyens annuels en eau de ruissellement, et compte tenu des contraintes, le plan d'eau normal a été calé de sorte que le volume d'eau à stocker soit maximal.

### *C. Calage des plus hautes eaux (PHE)*

Elle correspond au PEN augmenté de la charge au-dessus du seuil. Elle est donnée par l'équation 16 suivante :

$PHE = PEN + h$ (17)	PHE : Plan des Hautes Eaux (m) PEN : Plan d'Eau Normal (m) h : hauteur d'eau au-dessus du seuil (m)
----------------------	---

### *D. Estimation des besoins en eau et pertes*

#### **Hypothèses de calcul :**

Les résultats obtenus concernant la consommation humaine, animale et les valeurs des différentes pertes par évaporation, infiltration et dépôt solide vont nous permettre de simuler la courbe d'utilisation de la retenue d'eau. Ainsi, convient-il donc de déterminer les besoins en eau des cultures du périmètre, à irriguer en irrigation gravitaire, enfin d'effectuer le calage de la digue à la cote de projet adéquate.

Nous avons déterminé les besoins totaux de chacune des cultures que sont le riz, la tomate et l'oignon. Nous avons ensuite considéré le cas le plus défavorable (oignon).

#### **❖ Estimation des besoins agricoles**

Les cultures concernées sont :

- La riziculture pluviale sur 5 ha. De Mai à Octobre
- Le maraichage en saison sèche (oignon) sur 5 ha de Novembre à Avril.

Les paramètres permettant d'estimer les besoins des cultures sont donnés par les équations 18 ; 19 ; 20 et 21 suivantes :

<p>- <b>si <math>P \geq 20 \text{ mm}</math></b>      <i>Alors</i></p> <p><b><math>Pe \text{ (mm)} = P - (0.15 * (P - 20))</math></b>    (18)</p> <p>- <b><math>Pe \text{ (mm)} = P</math> si <math>P &lt; 20 \text{ mm}</math></b> (19)</p> <p>- <b><math>Bn = Kc * ET0 - Pe</math></b>                    (20)</p> <p>- <b><math>B_b = \frac{B_n}{e}</math></b>                                    (21)</p>	<p>P = pluviométrie moyenne mensuelles (mm)</p> <p>Pe=Pluie efficace (mm)</p> <p>Kc=Coefficient cultural de la plante</p> <p>ET0= Évapotranspiration de référence (mm)</p> <p>e= Efficience du système d'irrigation</p> <p>Bn= Besoins nets (mm)</p> <p>Bb= Besoins bruts (mm)</p>
---	--

❖ **Estimation des besoins pastoraux**

Les besoins en eau pastoraux ont été estimés à partir du nombre de bétail à desservir et de la consommation qui est de 40 litres/jour/UBT pour le gros bétail et 5 litres/jour/UBT pour le petit bétail. La population d'UBT a été actualisée à l'aide de l'équation 22 suivante avec des taux d'accroissement qui sont respectivement de 2% et 3% (INSD, 2008) :

<p><b><math>Pn = P0 (1 + Tx)^n</math></b>    (22)</p>	<p>Pn = population à l'échéance du projet</p> <p>Po = population initiale (1098 hbts)</p> <p>n = nombre d'année</p> <p>Tx = taux d'accroissement</p>
---	--

❖ **Besoins domestiques**

Pour les besoins domestiques d'après les enquêtes (échantillonnage) faites sur le terrain, nous décidons d'allouer 20 litres/jour/habitant.

❖ **Évaporation**

A partir des valeurs d'évaporation d'un bac, il est possible d'établir une corrélation avec les valeurs d'évaporation d'un lac par la formule de POUYAUD représenté dans l'équation 23. (COMPAORE, 1996).

<p><b><math>Elac = 1,664 * (E_{bacA})^{0,602}</math></b>    (23)</p>	<p>Elac : évaporation du plan d'eau (mm/j)</p> <p>Ebac A : évaporation au bac A (mm/j)</p>
--	--

❖ **Infiltration**

Les valeurs proposées pour l'estimation de l'infiltration dans la cuvette de la retenue d'eau varient généralement de 1mm/jour à plus de 3 mm/j et dépend fortement de la perméabilité du matériau de la cuvette. D'après l'étude géotechnique, le matériau de la cuvette est à prédominance argilo-limoneux, nous adopterons donc une valeur de 2 mm/jour pour l'infiltration. (SERAT/BERCI, 2017)

❖ **Dépôts solides**

Dans un contexte d'absence totale de mesures sur le terrain, la prévision de l'ampleur du transport solide est très peu fiable. Il est généralement fait recours à des méthodes établies sous forme de formules empiriques. Nous estimerons les dépôts grâce à trois méthodes, pour ensuite choisir le cas le plus défavorable. Les formules sont présentées dans les équations 24 ; 25 ; 26 et 27.

<p>Méthode CIEH-EIER (GRESILLON)</p> $D=700*(Pan/500)^{-2.2}*S^{-0.1} \text{ (m}^3/\text{Km}^2/\text{an) (24)}$ <p>Méthode de GOTTSCHALK</p> $D=260*S^{-0.1} \text{ (m}^3/\text{Km}^2/\text{an) (25)}$ <p>Méthode de KARAMBIRI</p> $Ds = 137 * \left(\frac{Pan}{700}\right)^{-2,2} * S^{-0,05} * (0,25 + 1,13 * (h + r))^{1,15}$ <p>(26) (m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup>/an) Et <math>Vs = D*S*n</math> (27)</p>	<p>h : paramètre anthropique, pris ceci égale à 0,55 (bassin versant comportant des petites villes et des villages moyens) ;</p> <p>r : paramètre morphologique, pris égale à 0,55 (relief moyen)</p> <p>Pan : la pluviométrie moyenne annuelle (mm)</p> <p>S : la superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)</p> <p>D : la dégradation spécifique annuelle (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an) ;</p> <p>V<sub>s</sub> : Volume de dépôts solides (m<sup>3</sup>/an)</p> <p>n : la durée de vie de l'ouvrage</p>
--	---

III.3.3 Étude de la digue

A. Calage de la digue

La hauteur de la digue est la côte normale de la retenue des eaux majorée de la lame d'eau au-dessus du déversoir et de la revanche. Elle est calculée à partir de l'équation 28 suivante :

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

$H_D = H_r + h + R \quad (28)$	$H_r$ = hauteur de la retenue (m) $h$ = lame d'eau au-dessus du seuil (m) $R$ = revanche (m)
--------------------------------	--

*B. Largeur de la crête*

La largeur de la crête est dimensionnée pour la circulation des engins et pour l'entretien de l'ouvrage (GUEYE, 2014). Elle est calculée par la formule de KNAPPEN et de PREECE correspondant aux équations 29 et 30:

- Formule 1 (Knappen) : $L_c = 1,65 * H^{0,5} \quad (29)$ - Formule 2 (Preece) : $L_c = 1,1 * H^{0,5} + 1 \quad (30)$	H : hauteur maximale de la digue
--	----------------------------------

*C. Largeur à la base*

La digue étant de forme trapézoïdale la largeur en base est donnée par l'équation 31 :

$L_b = L_c + (m_{amont} + m_{aval}) * H_D \quad (31)$	$L_c$ = largeur en crête de la digue (m) $m_{amont}$ = (Fruit de berge amont) $m_{aval}$ = (Fruit de berge aval) $H_D$ = hauteur de la digue (m)
---	---

*D. Revanche libre*

La revanche est une tranche d'eau comprise entre le PHE et la crête du barrage. Cette hauteur permet de protéger la digue des risques d'invasion, son calcul doit tenir compte de la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau et vitesse du vent (COMPAORE, 1996). Elle est donnée par la formule de GAILLARD à l'équation 32 :

$R = 0,75 * h' + V^2/2 * g \quad (32)$	$h' = 0,5 + \frac{1}{3} * \sqrt{f}$ (hauteur des vagues m) $f$ = fetch en km $U$ = vitesse du vent en km/h $V$ = vitesse de propagation des vagues (m/s) $V = 1,5 + 2 * h'$
--	---

*E. Pentés des talus de la digue*

Les pentes des talus sont fixées par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations.

Les pentes ont été fixées en tenant compte des caractéristiques géotechniques et de la nature des matériaux de construction de la digue.

Pour un barrage en terre homogène à granulométrie étendue, avec une hauteur de digue comprise entre 5 et 10 m les pentes sont de 2H/1V à l'aval et 2H/1V à l'amont sont admises comme présenté dans le tableau 1.

*Tableau 1: Pentés de talus en fonction de la hauteur du barrage*

Hauteur du barrage	Type de barrage en terre	Fruit des talus	
		Amont	Aval
Inférieur à 5 m	Homogène ou à zones	2	2
5 à 10 m	Homogènes, granulométrie étendu	2	2
	Homogène à fort pourcentage d'argile	2,5	2,5
	A noyau et recharges grossières	2	2,5
10 à 15 m	Homogène, granulométrie étendu	2,5	2,5
	Homogène à fort pourcentage d'argile	3	2,5
	A noyau et recharges grossières	2	2,3

**(LO, 2016)**

*F. Infiltration et hydraulique interne*

Cette étude consiste à analyser les conditions d'étanchéité des corps de remblai (Puech et Chabi-Gonni, 1983), tout en sachant que les infiltrations peuvent causer trois phénomènes:

- La ligne de saturation ou ligne phréatique
- Le débit de fuite
- La pression interstitielle de l'eau dans le massif (sous pression).

Le débit s'infiltrant à travers la digue peut être évalué à travers la parabole de KOZENY comme présenté dans les équations 33, 34, et 35.

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

$q = k_r * Y_0 * S \quad (33)$	$Y_0$ : Point d'intersection de l'axe des ordonnées et de la parabole de Kozeny $h$ : tirant d'eau à l'amont (m) $d$ : largeur à la base du barrage diminuée de $0.7 b$ et de la longueur du drain (m) $q$ : débit de fuite par mètre linéaire (m <sup>3</sup> /s/ml)
$Y^2 - 2*Y_0 - Y_0^2 = 0 \quad (34)$	
$Y_0 = \sqrt{(h^2 + d^2)} - d \quad (35)$	

*G. Filtre et drains*

Le filtre horizontal doit permettre la collecte des infiltrations dans la digue et une partie des débits d'infiltration dans la fondation et de les acheminer hors de la digue dans le fossé de pied aval.

Le filtre vertical sert de lieu de transition entre le remblai de la digue et le drain vertical. Il sert à éviter l'entraînement des particules fines du remblai par l'eau.

Les caractéristiques des filtres sont données par les équations 36 et 37 :

$e = 2 * \sqrt{\frac{q * l_d}{k_d}} \quad (36)$	$e$ : épaisseur (m) $l_d$ : longueur (m)
$l_d = \frac{L_b}{3} \quad (37)$	$L_b$ : largeur en base de la digue (m) $K_d$ (perméabilité du drain en m/s)
La valeur minimale recommandée est de 0,5 m <b>(DURAND, 1998)</b>	

*H. Stabilité des talus de la digue*

Un barrage mal dimensionné et instable porte, d'une part, préjudice à la sécurité des populations, des exploitations agricoles et aménagements situés à son aval. **(DURAND, 1998)**.

La digue étant homogène, en terre, les sollicitations extérieures ne sont pas susceptibles d'entraîner un renversement ou un glissement d'ensemble. Le phénomène le plus à craindre est le glissement des talus. L'étude de stabilité sera donc conduite sur la méthode des cercles de glissement de BISHOP. Elle a été vérifiée à l'aide du logiciel Géoslope Version 2012 qui utilise l'équation 38.

$FS = \frac{\sum \frac{(W - Pb) + \tan\phi + C + B}{\cos\alpha + \left(1 + \frac{\tan\alpha * \tan\phi}{FS}\right)}}{\sum (w \sin\phi)} \quad (38)$	$C$ : cohésion du matériau de remblai $W$ : Poids propre de l'ouvrage (KN/ml) $P$ : Poussées exercées sur l'ouvrage (KN/ml)
---	---

III.3.4 Étude de deux variantes (l'évacuateur de crue)

A. Position de l'évacuateur de crue

Trouver la position idéale du déversoir n'est pas souvent aisé. Il s'agira de mener une comparaison des avantages et inconvénients du positionnement du déversoir d'un barrage. Le tableau 2 présente les détaillés sur le choix de la position.

Tableau 2: Choix de la position du déversoir

TYPE	ÉCOULEMENT	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
CENTRALE	Surface libre dénoyé ou noyé	Débits importants	Gros volume en béton
		- Facile à réaliser - Peu de risque d'érosion régressive - Pente douce	
		Peu d'exigence Topographiques et Géologiques	Difficile à modifier
		Entretien facile	
LATÉRALE	Surface libre dénoyé ou noyé	Ouvrage de sécurité	Érosion régressive
		Plus coûteux que le central à cause des mesures de sécurité	-Débits relativement faible -Pente forte
		Facile à réaliser	Difficile à modifier
		Entretien facile	Traitement adéquat du chenal évacuateur

(O.N.B.A.H , 1990)

*A. Étude d'un déversoir poids de type CREAGER (variante 1)*

❖ Longueur du seuil déversant

La longueur du seuil déversant a été déterminée avec la crue brute.

$L = \frac{Q}{m \cdot (2+g)^{1/2} \cdot h^{3/2}} \quad (39)$	<p>Q : débit du projet (m<sup>3</sup>/s)</p> <p>L : longueur du seuil déversant (m)</p> <p>m : coefficient de débit du seuil déversant (profil trapézoïdal)</p> <p>g : accélération terrestre (m/s<sup>2</sup>)</p> <p>h : lame d'eau déversante (m)</p>
--	--

❖ Étude de stabilité du déversoir

La stabilité du barrage poids concerne l'équilibre de l'ensemble de l'ouvrage.

L'ouvrage doit résister au glissement sur la fondation et au renversement.

Les actions mises en jeu sur une tranche latérale de 1 m du déversoir font intervenir, le poids propre du déversoir, la poussée hydrostatique amont, les sous-pressions, éventuellement la poussée des sédiments accumulés à l'amont et la poussée hydrostatique aval comme présenté dans la figure 4.

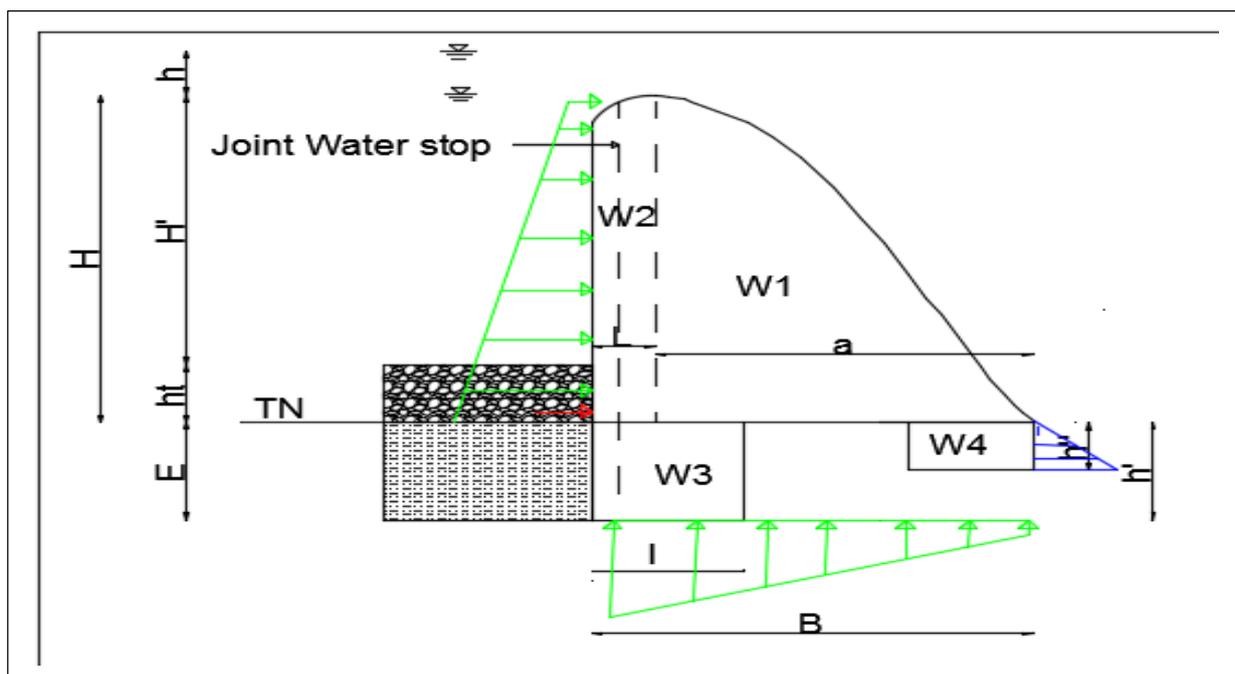


Figure 4: Forces agissantes sur le déversoir Creager.

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

➤ Stabilité au glissement

La vérification de la stabilité au glissement revient à comparer la force tangentielle de glissement admissible sous le mur avec la composante tangentielle réellement appliquée. Le coefficient de sécurité doit être supérieur à 1,2 pour que la stabilité au glissement soit vérifiée.

L'équation (40) permet de faire cette vérification.

$\frac{(W - U) * \tan(\phi_{\text{Béton - roche tendre}})}{(P + Pt)} \geq 1,2$ <p>(40)</p>	FG = coefficient de sécurité au glissement W = poids propre de l'ouvrage ; P= poussée de l'eau; Pt=poussée des sédiments
--	---

➤ Stabilité au renversement

La stabilité au renversement est vérifiée lorsque le rapport entre le moment résistants et le moment moteur est supérieur à 1,5. L'équation (41) permet de faire cette vérification.

$$M_{\text{Résultant}} = \sum M_{\text{Stabilisants}} - \sum M_{\text{renversement}}$$

$F_R = \frac{\sum M_{\text{résistants}}}{\sum M_{\text{moteurs}}} \geq 1,5 \quad (41)$	Coefficient de sécurité au renversement
--	---

➤ Stabilité à la non fissuration

La stabilité au renversement est vérifiée lorsque la résultante des forces s'appliquant sur la base du déversoir reste dans le tiers central. L'équation (42) permet de faire cette vérification.

$e = \frac{M_{\text{Résultant}}}{\sum F_{\text{Verticale}}} \quad (42)$ $\frac{-B}{6} < e < \frac{B}{6}$	e=excentricité
--	----------------

➤ Stabilité au poinçonnement

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

On vérifie que sous le massif la contrainte de référence est toujours inférieure à la pression admissible du sol ( $q_{adm}$ ) ; donné par l'équation (43) et (44):

$\sigma_{adm} = \frac{1}{2} * \gamma * B * N_{\gamma} + C * N_c + \gamma * E * N_q$ <p>(43)</p> <p><math>\sigma_{ref} &lt; q_{adm}</math></p> <p><i>Avec</i></p> $\sigma_{ref} = \frac{\sum F_{Verticale}}{a} \left( 1 + \frac{6 * e}{a} \right)$ <p>(44)</p>	<p><math>\gamma</math> : Poids Volumique du sol sous la base de la fondation (KN/m<sup>3</sup>)</p> <p><math>\Phi</math> : Angle de frottement interne du sol sous la base de la fondation (rad)</p> <p><math>N_{\gamma}</math> : Facteur de portance obtenu par interpolation</p> <p><math>C</math> : Cohésion du sol sous la base de la fondation</p> <p><math>N_c</math> : Facteur de portance obtenu par interpolation</p> <p><math>D</math> : profondeur d'encastrement de la fondation (profondeur à laquelle se trouve la base de la fondation (m))</p> <p><math>N_q</math> : Facteur de portance obtenu par interpolation</p> <p><math>\sigma_{max}</math> : Contrainte maximale imposée au sol de fondation (MPa)</p>
---	--

*B. Étude d'un déversoir en radier submersible (variante 2)*

Le déversoir radier submersible ayant un profil trapézoïdal, nous allons considérer la même longueur du seuil déversant que celui du Creager.

Les critères suivants seront considérés pour les dimensionnements :

- la stabilité de l'ouvrage est à vérifier ;
- le poinçonnement du sol sous l'ouvrage est à vérifier ;
- la contrainte dans la structure est à vérifier ;
- La stabilité au soulèvement de la dalle est à vérifier ;
- la section d'acier nécessaire est à calculer ;
- ❖ Étude de stabilité du déversoir

La stabilité du radier submersible concerne les éléments étudiés au niveau du déversoir poids mais également d'autre paramètre comme :

- La stabilité au soulèvement de la dalle est à vérifier
- la section d'action d'acier nécessaire;
- la stabilité de forme (flèche, flambement, élongation, poinçonnement...) est vérifiée ;
- la contrainte dans la structure est à vérifier ;

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

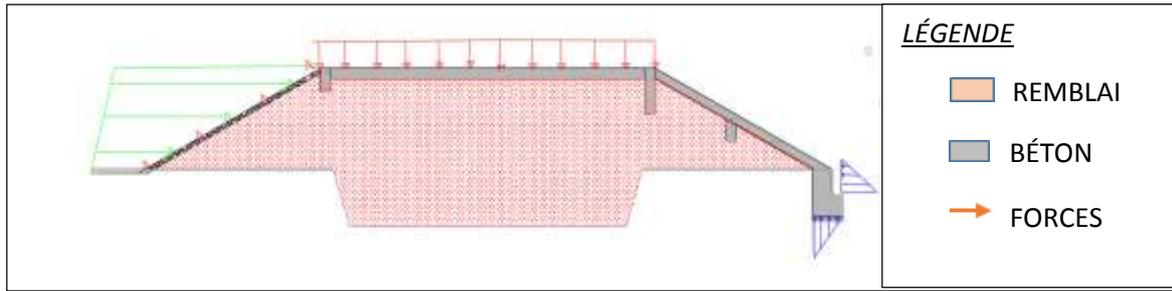


Figure 5: Forces agissantes sur le déversoir Radier.

➤ Stabilité au glissement

L'équation (45) permet de faire cette vérification.

$\frac{(W - U) * \tan(\phi_{\text{Béton} - \text{roche tendre}})}{(P + Pt)} \geq 1,2$ <p>(45)</p>	<p>FG = coefficient de sécurité au glissement</p> <p>W = poids propre de l'ouvrage ;</p> <p>P= poussée de l'eau;</p> <p>Pt=poussée des sédiments</p>
---	--

➤ Stabilité à la non fissuration

La stabilité au renversement est vérifiée lorsque la résultante des forces s'appliquant sur la base du déversoir reste dans le tiers central. L'équation (46) permet de faire cette vérification.

$e = \frac{M_{\text{Resultant}}}{\Sigma F_{\text{Verticale}}} \quad (46) ; \quad \frac{-B}{6} < e < \frac{B}{6}$	e =excentricité
--	-----------------

➤ Stabilité de la dalle au soulèvement

Le principe simple utilisé est d'assurer la stabilité au soulèvement de la dalle  $P_s < N$ . L'équation (47) permet de faire cette vérification.

<p><math>P_s = 0,15 * Y_w * V^2 / (2 * x * g)</math></p> <p><math>P_n = Y_w * h_w * \cos(a)</math></p> <p><math>P_{dn} = Y_b * e_{min} * \cos(a)</math></p> <p><math>N = P_n + P_{dn}</math></p> <p><b>Et <math>N &gt; P_s</math> (47)</b></p>	<p>Avec <math>N = P_n + P_{dn}</math> ;</p> <p>où N : effort normal à la dalle ;</p> <p><math>P_n</math> : composante normale du poids de l'eau</p> <p><math>P_{dn}</math> : composante normale du poids de la dalle ;</p> <p><math>P_s</math>: Sous -pression dynamique de l'eau sous la dalle du coursier.</p>
--	--

- la section d'action d'acier nécessaire;

Le calcul des treillis soudés et les dispositions constructives doivent être conformes aux règles BAEL.

Dans chaque sens, la section A (en Cm<sup>2</sup>/m) du treillis soudé disposé dans les zones tendues doit être telle :  $A \geq 15h$  Avec h(m) épaisseur du corps du dallage.

NB : Le talus amont sera en perré secs, la crête et le talus aval en dalle.

La jonction digue-déversoir se fera au moyen de deux rampes.

### III.3.5 Étude des ouvrages annexes

#### A. Bassin de dissipation et chenal d'évacuation

Le bassin de dissipation est la partie de l'évacuateur qui sert à dissiper l'énergie de chute et son action érosive. Il doit pouvoir contenir le ressaut hydraulique à l'aval. Le choix du type de bassin de dissipation a été fait en fonction de la vitesse de l'eau à l'entrée du bassin et du nombre de Froude. Les dimensions géométriques du bassin ont été estimées à partir des abaques proposés par Grésillon et Lahaye.

Les eaux déversées dans le bassin de dissipation seront acheminées par un chenal d'évacuation et délimité par des diguettes de protection. Les caractéristiques du chenal ont été définies par les lois d'écoulement en surface libre (MAR, 2004). L'équation (48) permet de faire cette vérification.

$\frac{Q_{\text{projet}}}{K_s \cdot \sqrt{I}} = \frac{y_n \cdot (b + m y_n)^{\frac{5}{3}}}{(b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{(1 + m^2)})^{\frac{2}{3}}}$ <p>(48)</p> $Fr = \frac{V_1}{g \cdot y_1}$ $V_1 = \frac{Q_s}{y_1}$	<p><math>Q_{\text{Projet}}</math> : débit du projet (m<sup>3</sup>/s)</p> <p><math>K_s</math> : coefficient de rugosité de Manning Strickler</p> <p><math>I</math> : Pente longitudinale (m/km) ; <math>y_n</math> : Tirant d'eau normal (m) ;</p> <p><math>b</math> : largeur en plafond ; <math>Q_s</math> : Débit spécifique (m<sup>3</sup>/s/ml)</p> <p><math>V_1</math> : vitesse à l'entrée du Bassin de dissipation (m/s)</p> <p><math>Y_1</math> : Tirant d'eau à l'entrée du Bassin de dissipation(m)</p>
--	--

*B. Mur bajoyer*

➤ **Stabilité au glissement**

La vérification de la stabilité au glissement revient à comparer la force tangentielle de glissement admissible sous le mur avec la composante tangentielle réellement appliquée. Le coefficient de sécurité doit être supérieur à 1,5 pour que la stabilité au glissement soit vérifiée.

Il est calculé par l'équation (49) :

$F_G = \frac{C \cdot S + \sum (W - P_i) \tan \phi}{\sum (P)} \geq 1,5 \quad (49)$	FG = coefficient de sécurité au glissement W = poids propre de l'ouvrage ; Pi = sous pression ; C = la cohésion du sol de fondation
---	--

➤ **Stabilité au renversement**

Dans un premier temps, on suppose que le mur pivote et on calcule les moments des forces motrices (poussée de l'eau et sous-pression) et forces résistantes (poids propre de l'ouvrage). Le rapport des deux moments est considéré comme le facteur de sécurité au renversement et doit être supérieur ou égal à 1,5. L'équation (50) permet de faire cette vérification.

$F_R = \frac{\sum M_{résistants}}{\sum M_{moteurs}} \geq 1,5 \quad (50)$	FR = coefficient de sécurité au renversement ;
--	--

*C. Ouvrage de prise et de vidange*

➤ **Ouvrage de prise**

Le choix du type d'ouvrage de prise a été fait en fonction des contraintes budgétaires et de la charge d'eau disponible. Son diamètre a été déterminé à partir de la formule de Torricelli qui se définit à l'équation (51) :

$Q = c * \pi * \frac{D^2}{4} * \sqrt{2 * g * H} \quad (51)$	Q=Débit obtenu par la formule de Torricelli (m3/s) C = coefficient de Torricelli ( <b>KOUAME, 1993</b> ) D = diamètre de la conduite (mm) H = charge de l'eau (m).
---	---

➤ **Ouvrage de vidange**

Sur les petits barrages agricoles, on prévoit des organes de vidanges qui sont souvent des conduites en acier de diamètre supérieur à  $\Phi 500$  destinés à vider la retenue en cas de besoin (**DURAND, 1998**). L'ouvrage de vidange se définit par son temps de Vidange donné à l'équation (52).

$T = \left(\frac{S}{s}\right)^2 * \sqrt{\frac{2}{g}} * (\sqrt{h_0} - \sqrt{h}) \quad (52)$	T=Temps de vidange (s) S = Superficie au PEN s = Section de l'ouvrage de vidange (m <sup>2</sup> ) h <sub>0</sub> =Charge au PEN (m) h=Charge à côte de l'ouvrage de vidange (m)
--	--

### III.3.6 Étude comparative des variantes (déversoirs)

La comparaison entre les deux types de déversoir concernera :

- ❖ Comparaison des paramètres hydrauliques
- ❖ Comparaison selon le coût de réalisation
- ❖ Comparaison selon la charge d'entretien
- ❖ Comparaison selon la maîtrise de la technique de construction
- ❖ Comparaison selon la durabilité

## IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### IV.1 Étude hydrologique

#### IV.1.1 Caractéristiques physiques et géomorphologiques du bassin versant

Les caractéristiques physiques et géomorphologiques du bassin versant sont résumés dans le tableau 3 ci-dessous :

*Tableau 3: Caractéristiques du bassin versant*

Climat	Soudano-sahélien
Classe de perméabilité	RI(P3)
Surface (km <sup>2</sup> )	430
Périmètre (km)	84,48
Typologie du bassin suivant la taille	Grand Bassin versant
Typologie du réseau hydrographique	Arête de poisson
Coefficient de compacité de GRAVELIUS	1,15
Longueur du rectangle équivalent (Km)	25,13
Largeur du rectangle équivalent	17,11
Indice global de pente (m/km)	2,16
Indice de pente transversale (m/km)	5,04
Indice global de pente corrigé (m/km)	2,88
Pente moyenne du réseau hydrographique (m/km)	2,59
Dénivelée spécifique (m)	59,75
Typologie du relief	Modéré

#### IV.1.2 Analyse fréquentielle

Les différents quantiles obtenus à partir de l'analyse fréquentielle sont reportés au tableau 4 :

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

*Tableau 4: Quantité d'eau en fonction de la période de retour.*

Caractéristiques	Valeurs (mm)
Pluie annuelle moyenne	806,2
Pluie décennale humide	952,2
Pluie décennale sèche	659,3
Pluie quinquennale humide	901,9
Pluie quinquennale sèche	709,6
Pluie journalière décennale humide	87,1
Pluie journalière décennale sèche	47,4
Pluie journalière centennale humide	117,4
Pluie journalière centennale sèche	38,5

#### IV.1.3 Débit de projet

L'utilisation des deux méthodes de calcul du débit maximal nous a permis d'avoir respectivement les valeurs pour la méthode Orstom et la méthode CIEH. Comme l'ouvrage à mettre en place est un ouvrage de sécurité, nous allons retenir la valeur fournie par la méthode CIEH pour avoir de la sécurité. Le tableau 5 présente les résultats de calculs.

*Tableau 5: Débit de projet*

Méthode	Désignation	Unité	Valeur
Méthode ORSTOM	Crue décennale	m <sup>3</sup> /s	138,0
Méthode CIEH	Crue décennale	m <sup>3</sup> /s	167,6
<b>Crue décennale retenue</b>		<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>167.6</b>
Coefficient majorateur			2,0
Débit de projet	Crue centennale	m <sup>3</sup> /s	326,8
	<b>Crue centennale retenue</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>327</b>

#### IV.1.4 Crue de sécurité

Le barrage de Dianga est dimensionné en tenant compte de la crue de sécurité. La crue de sécurité est de l'ordre de **508 m<sup>3</sup>/s**.

#### IV.1.5 Crue de rupture

La crue de rupture est la crue qui, lorsqu'elle arrive, peut entraîner la destruction de la digue. Elle est de **1076,4 m<sup>3</sup>/s**.

#### IV.1.6 Apports liquides du bassin versant

Les apports pour différentes fréquences sont reportés dans le tableau 6; Pour la mise en place d'un aménagement agricole en aval de la retenue, la simulation se fera avec la valeur fournie par la quinquennale sèche.

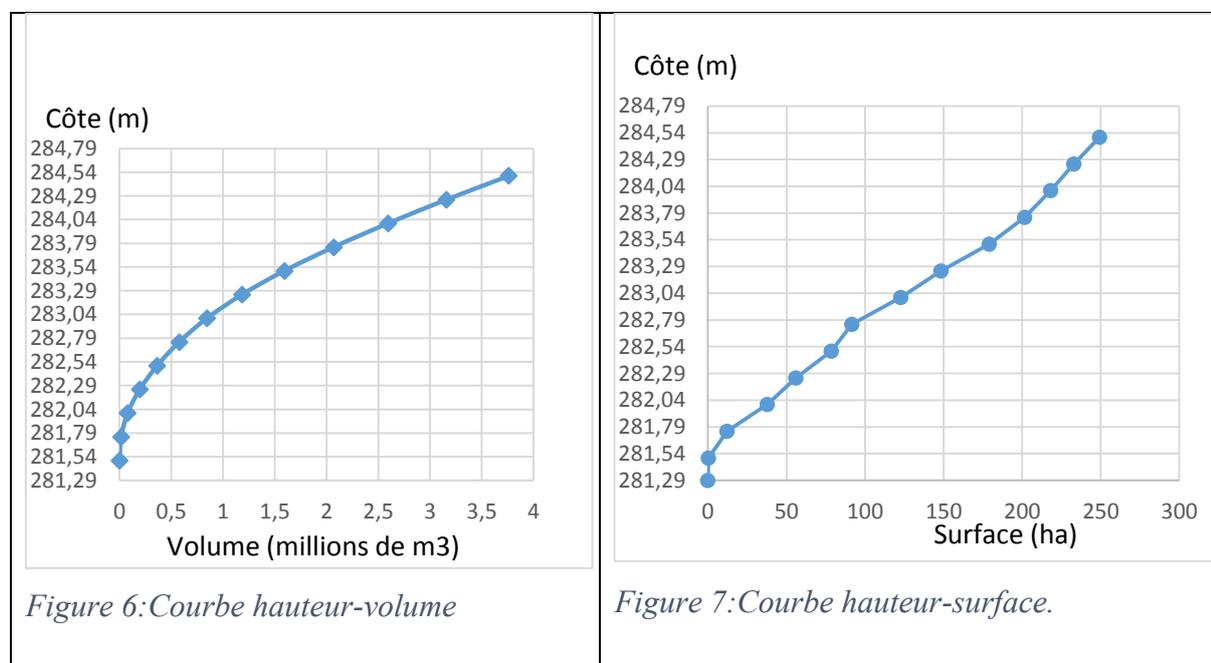
*Tableau 6: Apports liquides en années sèches*

Fréquence de dépassement (Fd)	Durée de retour correspondant	Coefficient d'écoulement Ke (%)	Apports liquides (m <sup>3</sup> )
0.1	Décennale sèche	13,9	39 365 878
0.2	Quinquennale sèche	14.9	45 602 786,36
0.5	Année moyenne	17.0	58 860 885

### IV.2 Étude de la cuvette

#### IV.2.1 Courbe hauteur-volume/hauteur-surface

Après l'implantation de l'axe de la digue, le tracé des courbes « hauteur – volume » et « hauteur-surface » a été obtenu en estimant les surfaces moyennes entre les plans définis par des pas de hauteur 0,25 m. cf. Annexe III (Étude de la cuvette). Les figures 6 et 7 présentent les courbes.



#### IV.2.2 Caractéristiques de la cuvette au PEN et au PHE

Les caractéristiques de la cuvette sont résumées dans le tableau 7:

*Tableau 7: Caractéristiques de la cuvette*

Côte Plan d'Eau Normal (PEN)	283,75 m
Capacité de stockage de la cuvette (PEN)	2 068 904,8 m <sup>3</sup>
Superficie du plan d'eau normal (PEN)	2 016 763,12 m <sup>2</sup>
Côte Plan des Hautes Eaux (PHE)	284,5 m
Superficie du Plan des Hautes Eaux (PHE)	2 492 451,99 m <sup>2</sup>
Capacité de stockage de la Cuvette (PHE)	3 760 407,84 m <sup>3</sup>
Apports moyens annuels	58 860 885 m <sup>3</sup>

#### IV.2.3 Revanche libre

La relation de GAILLARD a été utilisée pour sa détermination sur la base d'une hauteur de vagues obtenue par la relation de MOLITOR et de STEVENSON. Nous obtenons une revanche **R=1,2 m.**

#### IV.2.4 Simulation de la retenue

Connaissant les différentes consommations (humaines et animales) et les valeurs des pertes par évaporation, infiltration et dépôt solide, nous pouvons procéder à la simulation de la retenue.

De cette simulation il ressort que nous pouvons exploiter environ 5,00 ha en position aval rive gauche pour l'agriculture.

#### IV.2.5 Évaluation des besoins

- Besoins en eau agricole: La population de Dianga cultive deux fois par saison, donc les besoins sont multipliés par deux (2) :  $33\,779,8208 \times 2 = 84\,449,55 \text{ m}^3$ .
- Besoins pastoraux :
  - Nous estimons que pendant la période de transhumance (Mars à Juin), le nombre de têtes de bétails local est doublé. Pour le cheptel de transit, nous estimons égal à la moitié du cheptel local.
  - Les autres espèces auront recours aux points d'eau (forage et puits) domestique.

Nous retiendrons les considérations suivantes pour le calcul des besoins en eau pastoraux :

- Juillet, Aout et Septembre : pas de consommation par la retenue
- Octobre, Novembre, Décembre et Janvier : consommation à 50% par le barrage.

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

- Février, Mars, Avril,
- Mai et Juin : consommation à 100% par le barrage.

La consommation en eau est 40l/jour pour les bovins et de 5l/jour pour les ovins. Ainsi le total général des besoins en eau pastoraux est de 143 249,19 m<sup>3</sup>.

Les besoins humains sont obtenus en multipliant la population totale par les besoins journalier et le nombre de jours : Besoins=1526hbts x 15 x 366 d'où Besoins = 8 377 740 Litres comme présenté dans le tableau 8.

Les détails des calculs sont à l'annexe III.

*Tableau 8:Évaluation des besoins*

Besoins en eau pastoraux (m <sup>3</sup> )	Besoins en eau de l'oignon (m <sup>3</sup> )	Besoins humains (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )
143 249,19	84 449,55	8 377,74	236 076,48

#### IV.2.6 Évaluation des pertes de retenue

##### *A. Pertes par évaporation*

$E_{ret}(mm/j)=1.664*(E_{bacA})^{0.602}$  avec  $E_{bacA}$  en mm/j. Le tableau 9 présente les résultats de calculs.

*Tableau 9: Évaporation dans la retenue*

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
<b>Ev. BAC A (mm)</b>	270	289	350	320	286	217	169	133	135	185	228	248	2829
<b>Ev. BAC A (mm/j)</b>	9	10	11	11	9	7	5	4	5	6	8	8	93
<b>Ev. PE (mm/j)</b>	6	7	7	7	6	5	5	4	4	5	6	6	68
<b>Ev. PE (mm)</b>	190	190	222	207	197	164	143	124	124	151	169	180	2061

*(Agence Nationale de la Météorologie, 2017)*

---

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

L'évaporation maximale de la retenue est observée en Mars (222 mm) tandis que la plus faible en Août et en Septembre (124 mm).

*B. Pertes par infiltration*

Les valeurs proposées pour l'estimation de l'infiltration dans la cuvette de la retenue d'eau varient généralement de 1 mm/jour à plus de 3 mm/j et dépend fortement de la perméabilité du matériau de la cuvette. D'après l'étude géotechnique, le matériau de la cuvette est à prédominance argilo-limoneux, nous adopterons donc une valeur de 2 mm/jour pour l'infiltration. Cette valeur pourrait connaître une baisse rapide avec la mise en eau du barrage due au dépôt des fines particules d'argile et de limons qui favorisent le colmatage de la cuvette.

Le tableau 10 présente l'infiltration par mois.

*Tableau 10: Perte par infiltration*

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
<b>Infiltration (mm)</b>	62	56	62	60	62	60	62	62	60	62	60	62	730

L'ensemble des pertes est résumé dans le tableau 11.

*Tableau 11: Pertes dans la cuvette*

Pertes par évaporation (m)	Pertes par infiltration (m)	Pertes dû aux dépôts solides (m <sup>3</sup> /an)
2,83	0,73	60 963

*C. Quantification des dépôts solides*

Le débit solide évalué avec la méthode :

- De KARAMBIRI est d'environ 24 827 m<sup>3</sup>/an
- De CIEH-EIER (GRESILLON) est d'environ 57 377 m<sup>3</sup>/an
- Et de Méthode de GOTTSCHALK est d'environ 60 963 m<sup>3</sup>/an

Vue la grande différence des valeurs obtenues, nous avons opté pour le cas le plus défavorable à savoir 60 963 m<sup>3</sup>/an obtenu par la méthode de GOTTSCHALK.

La figure 8 présente l'exploitation de la retenue.

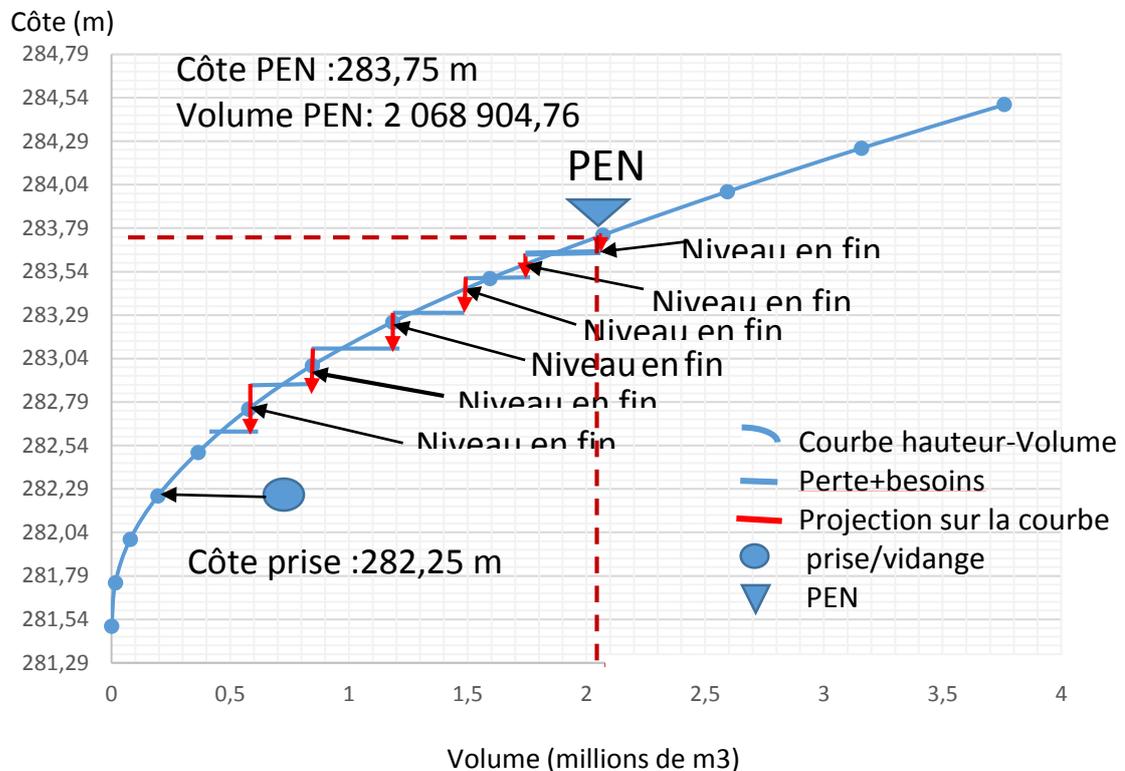


Figure 8: Courbe d'exploitation de la retenue en année quinquennale sèche

### IV.3 Étude de la digue

Pour la digue de Dianga, elle sera en terre homogène afin de faciliter sa mise en œuvre et compte tenu de la disponibilité de matériaux.

En effet, les prospections de terrain ont révélé la disponibilité de matériaux argileux en grande quantité. Ce matériau convient à la réalisation d'une digue en terre homogène dont le compactage suivant les normes confère une meilleure stabilité et étanchéité.

Cette digue en matériau argileux sera protégée en crête et sur le talus par des matériaux graveleux latéritiques et enrochement. Un dispositif de drainage est aussi préconisé dans les parties où la charge d'eau l'exigerait.

Nous avons résumé les caractéristiques de la digue dans le tableau 12.

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

*Tableau 12:Caractéristiques de la digue*

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR	DISCUSSION
<b>DIGUE</b>			
Type de digue		homogène	Disponibilité des matériaux
Côte crête déversoir	m	283.75	Cette côte correspond à la côte au PEN.
Revanche	m	1,4	
Côte crête digue	m	286,0	
Côte crête mur parapet	m	286,5	Pour rester dans la sécurité, nous rehaussons la digue avec un mûr parapet
Hauteur digue	m	4,5	
Longueur digue	m	806	Longueur de la digue avec le déversoir
Largeur en crête digue	m	3,5	Cette valeur est suffisante pour faciliter passage des engins.
Talus amont et aval	H/V	2/1	Les pentes des talus amont ont été déterminées en fonction du type et de la hauteur de barrage
Largeur en base digue	m	21,5	
<b>Filtre horizontal</b>			
Épaisseur minimale	m	0,5	Longueur obtenue est du profil 4 au profil 16 et du profil 28 au profil 32. Lorsque la hauteur de la digue est supérieure ou égale à la revanche libre le filtre horizontal est nécessaire.
Largeur du filtre	m	5,50	
Longueur du filtre	m	516	
<b>Drain verticale</b>			
Épaisseur minimale	m	0,5	
Hauteur	m	2,25	Cette hauteur correspond à la hauteur du PEN au droit du déversoir.

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Tranchée d'ancrage			
Pente de talus de la tranchée d'ancrage	H/V	3/1	Cette valeur permet de faciliter la mise en œuvre de la tranchée par les engins.
Profondeur de la tranchée	m	0,45-3,8	La profondeur de la tranchée varie selon le profil donné
Largeur en gueule	m	4,6	
Débit de fuite par mètre linéaire	m <sup>3</sup> /s/ml	4,48E-07	Les fuites proviennent du corps de la digue et de la fondation Elles sont négligeables parce que les matériaux utilisés et le compactage entraînent des perméabilités faibles.
Débit de fuite	m <sup>3</sup> /s	2,61E-04	
Débit de fuite annuel	m <sup>3</sup> /an	8,24E+03	

#### IV.3.1 Protections des talus et de la crête

La protection de la crête et des talus est donnée comme suit :

- **Protection du talus amont**

Le talus amont sera protégé contre le battillage par une couche de perré sec en enrochement de moellons latéritiques ou granitiques de 0,25 m d'épaisseur, soigneusement rangés à la main et destinés à éviter que les matériaux terreux qui constituent le barrage ne soient érodés par les vagues. Les enrochements seront posés sur une couche de pose de grave latéritique d'une épaisseur de **0,10 m** qui jouera le rôle de filtre inverse.

Le pied amont de la digue sera protégé par une butée de pied amont, ouvrage triangulaire en enrochements, de 1,50 m de largeur en gueule et **0,50 m** de profondeur.

De part et d'autre du déversoir, le perré sera maçonné sur une largeur de **5 m** car ces zones sont les plus sensibles à l'action érosive des eaux.

- **Protection du talus aval**

Afin de lutter contre l'action érosive de l'eau, celle des animaux et du vent, et de tenir compte des changements climatiques, le talus aval sera également protégé par une couche de perré sec constituée d'enrochements latéritiques ou granitiques de 0,25 m d'épaisseur soigneusement posés à la main sur une couche de pose de grave latéritique d'une épaisseur de 0,10 m.

Un fossé drain sera aménagé au pied du talus pour collecter les eaux pluviales et les eaux d'infiltration en provenance du corps de la digue. Il sera revêtu en enrochements soigneusement rangés à la main. C'est un ouvrage triangulaire comme la butée de 1,50 m de largeur en gueule et 0,80 m de profondeur.

- **Protection de la crête de la digue**

Il est nécessaire de protéger la crête pour lutter contre la dessiccation mais aussi pour assurer la circulation éventuelle d'engins. La protection sera constituée de matériaux graveleux latéritique compacté d'une épaisseur de **20 cm** Elle aura une pente transversale de **3%** vers l'amont pour éviter les stagnations d'eau sur la crête et permettre leur ruissellement vers la retenue.

Du côté aval, il sera aménagé un mur de crête en maçonnerie de moellons de **0,50 m x 0,50 m**, ancré dans la digue de **0,50 m**. Le mur de crête dépassera la cote du couronnement de **10 cm** pour éviter des amorces d'érosion sur le talus aval.

Du côté amont, en lieu et place du mur de crête, il sera aménagé un mur parapet en maçonnerie de moellons de **0,50 m x 1,00 m**, ancré dans la digue de **0,50 m**. Le mur sera équipé de barbacanes de **40 mm** de diamètre pour le drainage de la crête de la digue vers le plan d'eau. La longueur totale du mur parapet est de 583 m.

#### IV.3.2 Stabilité des pentes de la digue

Les résultats de la vérification de la stabilité des pentes avec la méthode de Bishop, par le logiciel GEO-SLOPE, nous donnent un coefficient de sécurité ( $F > 1,5$ ) dans les cas où la retenue est (vide ou pleine). Les pentes des talus amont et aval, pris à (1/2), sont stables.

Cercle de glissement le plus défavorable, cas de la retenue vide

- X=12,50 - Y=8,40

- Rayon=12,10

- F=1,83

Cercle de glissement le plus défavorable, cas de la retenue pleine

- X=12,60 - Y=8,50

- Rayon=12,4

- F=2,98

#### IV.4 Étude de deux variantes (évacuateur de crue)

##### IV.4.1 Déversoir poids de type Creager

Le résultat de calcul des paramètres du Creager sont dans le tableau 13.

*Tableau 13: Caractéristiques de l'évacuateur de crue*

Évacuateur de crue			
Type de déversoir		Déversoir poids à Profil CREAGER	mise en œuvre complexe mais relativement abordable.
Position déversoir		Centrale	Pour restituer le lit du cours d'eau.
Lame d'eau déversante	m	0,8	Cette valeur est inférieure à la valeur maximale recommandée pour les évacuateurs de crue : 1,5m (COMPAORE 1996)
Longueur du seuil déversant	m	223	Cette longueur est obtenue avec la crue projet.
Profondeur de la para fouille amont	m	0,8	Ces valeurs sont confortées par l'étude de stabilité du déversoir.
Profondeur de la para fouille aval	m	1,5	
base de la para fouille amont	m	0,8	
base de la para fouille aval	m	1	

##### *A. Stabilité du déversoir*

Le tableau14 présente les résultats de l'étude de la stabilité du déversoir poids (Le détail des calculs est joint en Annexe IV (Étude de la digue et de ses ouvrages annexes).

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

*Tableau 14 : Résultats du calcul des paramètres de stabilité du Creager.*

DESIGNATION	FORCES (KN)		BRAS DE LEVIER/B (m)	MOMENTS (KN.m)	
	VERTICA LES	HORIZONTA LES		Stabilité	renversement
W1	123,56		1,30	160,02	
W2	14,19		2,92	41,47	
W3	16,00		2,79	44,62	
W4	37,50		0,50	18,75	
W	191,24			264,86	
P1		17,34	1,13		19,51
P2		25,31	0,75		18,98
P		42,65			38,49
Upa	22,64				
U	48,05		2,53		121,58
poussée des sédiments		18,38	0,20		3,68
TOTAL	239,30	61,03		264,86	163,75

• **STABILITÉ AU GLISSEMENT**

Vérification de la stabilité au glissement :

Tan ( $\phi$ Béton-roche tendre)=0,65 pour les argiles, marnes...

$$FG = \frac{(191,24 - 48,05) * 0,65}{(42,65 + 18,38)} = 1,52 \geq 1,2$$

Conclusion : la stabilité au glissement est vérifiée.

• **STABILITÉ AU RENVERSEMENT**

$$MR_{\text{résultant}} = \sum M_{\text{Stabilisants}} - \sum M_{\text{renversement}} = 264,86 - 163,75 = 101,10$$

$Fr = \frac{264,86}{163,75} = 1,62 \geq 1,5$  ; Conclusion la stabilité au renversement est vérifiée.

• **STABILITÉ A LA NON FISSURATION**

$$R = \sqrt{\sum F_{\text{Verticale}}^2 + F_{\text{Horizontale}}^2} = \sqrt{239,30^2 + 61,03^2} = 246,96$$

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

$$e = \frac{M_{Resultant}}{\Sigma F_{Verticale}} = \frac{101,10}{239,30} = 0,42 \text{ et } B/6=0,54$$

Conclusion :  $\frac{-B}{6} < e < \frac{B}{6}$ , la stabilité à la non fissuration est vérifiée.

• **STABILITÉ A LA NON RUPTURE**

Vérification de la stabilité interne de l'ouvrage:

$$\begin{aligned} \sigma_{min} = \sigma_A = \sigma \left( y = \frac{-B}{2} \right) &= \left( \frac{W - U}{B} \right) * \left( 1 - \frac{6 * e}{B} \right) \\ &= \frac{191,24 - 48,05}{3,25} * \left( 1 - \frac{6 * 0,42}{3,25} \right) * 10^{-3} = 0,009 MPA \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{max} = \sigma_B = \sigma \left( y = \frac{-B}{2} \right) &= \left( \frac{W - U}{B} \right) * \left( 1 + \frac{6 * e}{B} \right) \\ &= \frac{191,24 - 48,05}{3,25} * \left( 1 + \frac{6 * 0,42}{3,25} \right) * 10^{-3} \end{aligned}$$

= 0,08MPA ≤ 21MPA. Conclusion : la stabilité interne est vérifiée.

• **STABILITÉ AU POINÇONNEMENT**

On vérifie que sous le massif la contrainte de référence est toujours inférieure à la pression admissible du sol :

$$\sigma_{ref} = \frac{\Sigma F_{Verticale}}{a} \left( 1 + \frac{6 * e}{a} \right) \text{ car } 0 < e < \frac{a}{6}; \sigma_{ref}=108,1 \text{ KN/ml}$$

Données							
$\varphi(0)$	$N\gamma$	$Nq$	$Nc$	$\gamma$	B(m)	E(m)	C
32	24,9	23,2	35,5	18,7	3,25	1,2	26,5
qadm (KN/ml)	2030						

$$\sigma_{ref} < q_{adm}$$

Conclusion : la stabilité au poinçonnement est vérifiée.

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

IV.4.2 Déversoir en radier submersible

Le résultat de calcul des paramètres du Radier sont dans le tableau 14.

Tableau 15: Caractéristiques du radier submersible.

Évacuateur de crue			
Type de déversoir		Déversoir radier submersible	mise en œuvre demande beaucoup de rigueur mais relativement abordable.
Position déversoir	km	Centrale	Pour restituer le lit du cours d'eau.
Lame d'eau déversante	m	0,8	Cette valeur est inférieure à la valeur maximale recommandée pour les évacuateurs de crue : 1,5 m (COMPAORE 1996)
Longueur du seuil déversant	m	223	Cette longueur est obtenue avec la crue projet.
Épaisseur de la dalle de crête	m	0,25	Ces valeurs sont confortées par l'étude de stabilité du déversoir.
Épaisseur de la dalle du coursier	m	0.2	
Bêche de la dalle	m	0,5 et 0,75	
Bêche du coursier	m	0,5 et 1,05	

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Le tableau 16 montre l'ensemble des forces agissantes sur le déversoir.

Tableau 16 : Résultats du calcul des paramètres de stabilité du radier submersible

DÉSIGNATION	FORCES (KN)		BRAS DE LEVIER/B (m)	MOMENTS (KN)	
	VERTICALE S	HORIZONTALE S		Stabilité	Renversement
Poids du remblai	389,03		00	00	
poids des dalles en crête	28,75		6,80	195,50	
poids dalle talus aval	25,16		2,25	56,60	
charge routière	98,10		0,00	0,00	
Parafouille	17,50		0,40	7,00	
Pieds D1(2)	4,69		4,50	21,09	
Pieds D1(1)	3,13		9,10	28,44	
Pieds D2	3,13		2,25	7,03	
$\Sigma$ poids W	92,00				
P1		17,34	1,13		19,51
P2		25,31	0,75		18,98
$\Sigma p - hydro P$		42,65			38,49
Upara	22,64				
U	48,05		0,40		19,22
poussée des sédiments		18,38	0,20		3,68
TOTAL	228,50	61,03		315,66	61,39

• **VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ AU GLISSEMENT :**

Tan ( $\phi$ Béton-roche tendre)=0,65 pour les argiles, marnes...

$$\frac{(481,03-48,05)*0,65}{(42,65+18,38)} = 4,61 \geq 1,5$$

Conclusion : la stabilité au glissement est vérifiée.

• **STABILITÉ A LA NON FISSURATION**

$$R = \sqrt{\Sigma F_{Verticale}^2 + F_{Horizontale}^2} = \sqrt{82,34^2 + 61,03^2} = 102,5$$

$$e = \frac{M_{Resultant}}{\Sigma F_{Verticale}} = \frac{254,27}{140,06} = 1,82 \text{ et } B/6 = 2,26 ;$$

- **STABILITÉ A LA NON RUPTURE**

Vérification de la stabilité interne de l'ouvrage:

$$\begin{aligned}\sigma_{min} = \sigma_A = \sigma \left( y = \frac{-B}{2} \right) &= \left( \frac{W - U}{B} \right) * \left( 1 - \frac{6 * e}{B} \right) \\ &= \frac{92,00 - 48,05}{13,6} * \left( 1 - \frac{6 * 1,82}{13,6} \right) * 10^{-3} = 0,001MPA \geq 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{max} = \sigma_B = \sigma \left( y = \frac{-B}{2} \right) &= \left( \frac{W - U}{B} \right) * \left( 1 + \frac{6 * e}{B} \right) \\ &= \frac{92,00 - 48,05}{13,6} * \left( 1 + \frac{6 * 1,82}{13,6} \right) * 10^{-3}\end{aligned}$$

$$= 0,01MPA \leq 21MPA$$

Conclusion : la stabilité interne est vérifiée.

- **VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ AU SOULÈVEMENT DE LA DALLE**

$$N = P_n + P_{dn} = 5,37 \text{ KN}$$

$$P_s = 5,04 \text{ KN}$$

D'où  $N > P_s$  Donc la condition de stabilité au soulèvement est vérifiée !

- **LA SECTION D'ACTION D'ACIER NÉCESSAIRE;**

Nous avons calculé les sections d'acier des différentes parties à l'aide des sections béton de départ et les moments calculés ; quand les contraintes dépassent les valeurs limites nous proposons les sections de béton adéquates.

- Calcul des sections d'acier longitudinal de la bêche amont

Il faut donc  $\Phi 12$  espacement 15 cm sur la membrure gauche de la bêche amont et  $\Phi 8$  espacement 15 cm sur la membrure droite. Les espacements peuvent devenir 20 cm si les épaisseurs passaient à 25 cm.

- Calcul des sections d'acier longitudinal en about gauche de la dalle de crête

Il faut  $\Phi 10$  espacement 15 cm sur la membrure supérieure de l'about gauche de la dalle de crête et  $\Phi 8$  espacement 15 cm sur la membrure inférieure. Les espacements peuvent devenir 20 cm si les épaisseurs passaient à 25 cm.

- Calcul des sections d'acier longitudinal en travée de la dalle de crête

Il faut  $\Phi 8$  espacement 15 cm sur la membrure inférieure et supérieure en travée de la dalle de crête. Les espacements peuvent devenir 20 cm si les épaisseurs passaient à 25 cm

- Calcul des sections d'acier longitudinal en about droite de la dalle de crête

On peut constater qu'en prenant  $\Phi 16$  espacement 15 cm en haut et  $\Phi 8$  espacement 20cm en bas, on a malgré tout une forte contrainte de traction dans le béton d'une part et d'autre part la section  $\Phi 16$  n'est pas conseillée pour une section de béton de 20 cm. Il faut donc passer obligatoirement à une épaisseur de 25 cm pour la dalle de crête.

- Calcul des sections d'acier longitudinal de la bêche aval de la dalle de crête

Il faut  $\Phi 12$  espacement 15 cm sur la membrure droite de la bêche aval de la dalle de crête et  $\Phi 8$  espacement 15 cm sur la membrure gauche. Les espacements peuvent devenir 20 cm si les épaisseurs passaient à 25 cm.

- Calcul des sections d'acier longitudinal de l'about gauche de la dalle du coursier

Nous prenons  $\Phi 8$  espacement 20 cm sur la membrure supérieure de l'about gauche de la dalle du coursier et  $\Phi 8$  espacement 20 cm sur la membrure inférieure.

Notons que c'est le cas le plus défavorable sur toute la dalle du coursier et nous allons garder ce ferrailage sur l'ensemble de la dalle du coursier.

- Calcul des sections d'acier longitudinal de la bêche de la dalle du coursier

Nous prenons  $\Phi 8$  espacement 20 cm sur la membrure droite de la bêche de la dalle du coursier et  $\Phi 8$  espacement 20 cm sur la membrure gauche.

- Calcul des sections d'acier transversal

Nous allons prendre le cas le plus défavorable pour l'appliquer sur l'ensemble de la structure

Nous allons prendre la valeur minimale imposée de  $10 \text{ cm}^2 / \text{ml}$  correspondant à  $\Phi 8$  espacement 25 cm. Il faut noter que la valeur de l'effort tranchant prend en compte le freinage.

## **IV.5 Étude des ouvrages annexes**

### **IV.5.1 Bassin de dissipation et chenal d'évacuation**

Les caractéristiques du Bassin de dissipation et du chenal sont résumées dans le tableau 17.

Tableau 17: Caractéristiques du Bassin de dissipation et chenal d'évacuation

<b>Bassin de Dissipation</b>		
Hauteur de la lame d'eau sur le déversoir (Ho)	m	2,25
Enfoncement du bassin (D)	m	0,5
Débit de crue	m <sup>3</sup> /s	327
Débit unitaire	m <sup>3</sup> /s/ml	1,5
Lame d'eau déversante	m	0,77
Hauteur de chute	m	3,7
Tirant d'eau avant ressaut	m	0,2
Vitesse d'eau à l'entrée du bassin	m/s	8,03
Nombre de Froude	Fr	6,1
Bassin retenue	-	<b>Bassin USBR de type II béton en cyclopéen</b>
Tirant d'eau conjugué	m	1,4
Longueur du bassin de dissipation	m	3,6
Hauteur du seuil terminal	m	0,3
Hauteur des blocs chicanes	m	0,25
Distance entre chicanes	m	0,2
<b>Chenal d'évacuation</b>		
Pente longitudinale	m/km	1,5
Pente des talus	H/V	3/2
Profondeur	m	1
Largeur en plafond	m	223
Longueur du chenal	m	40
Débit maximal	m <sup>3</sup> /s	327

#### IV.5.2 Murs bajoyers

##### □ Caractéristiques géométriques du bajoyer

Les bajoyers servent de jonction entre le déversoir et le remblai de la digue. Ils ont été dimensionnés comme un mur de soutènement.

Les résultats de calcul des caractéristiques des bajoyers se présentent dans le tableau 18 (Annexe III pour le détail des calculs).

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

*Tableau 18: Caractéristiques du bajoyer*

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
Hauteur maximale du bajoyer	m	4,5
Épaisseur du mur à la base bajoyer	m	0,35
Épaisseur crête du bajoyer	m	0,25
Épaisseur de la semelle	m	0,35
Largeur base du mur bajoyer	m	3
Hauteur mur bajoyer au-dessus de la semelle	m	4,15

**Stabilité du bajoyer**

Le tableau 19 suivant présente les résultats de l'étude de la stabilité du mur bajoyer.

*Tableau 19: Caractéristiques géométriques et stabilité des bajoyers*

Désignation	UNITE	VALEUR
<b>Géométrie</b>		
<b>MUR</b>		
Épaisseur supérieure	Cm	25
Épaisseur inférieure	Cm	35
Hauteur	m	4,4
<b>SEMELLE</b>		
Sans patin		
Épaisseur/Hauteur	Cm	35
Talon	m	3
<b>STABILITÉ AU RENVERSEMENT</b>		
SOMME DES MOMENTS RENVERSANTS	KN.m	63,8
SOMME DES MOMENTS STABILISANTS	KN.m	178,0
COEFFICIENT DE SÉCURITÉ AU RENVERSEMENT		2,8
<b>STABILITÉ AU GLISSEMENT</b>		
RÉSULTANTE DES FORCES HORIZONTALES	KN	47,5
RÉSULTANTE DES FORCES VERTICALES	KN	212,7
COEFFICIENT DE SÉCURITÉ AU GLISSEMENT		0,22 < 0,35 (frottement avec le sol)
<b>ARMATURE</b>		
MUR	NOMBRE BARRE/ml	4 (diamètre 10) 2,938
SEMELLE	NOMBRE BARRE/ml	4 (diamètre 10) 2,938

#### IV.5.3 Diguettes de protection

Afin de drainer les eaux de déversement vers le talweg et empêcher l'érosion du pied de la digue, deux diguettes de protection seront construites (une de chaque côté du déversoir).

Les diguettes ont les caractéristiques présentées dans le tableau 20:

*Tableau 20: Caractéristique des diguettes de protection*

Matériau	Argile compactée
Type	homogène
Cote crête	282,75 m
Longueur	50,00 m
Largeur en crête	3,00 m
Pente talus amont/aval	1 H/1V
Protections talus amont	perré maçonné
Protections talus aval	revêtement latéritique
Protections crête	revêtement latéritique

#### IV.5.4 Ouvrage de prise

Un périmètre aménagé est prévu à l'aval de la digue, on construira un ouvrage de prise sur cette rive. Ainsi, on placera sous la digue, à la position rive gauche, un ouvrage de prise calé à la côte 282,25 m avec un système de vanne à l'aval. Il servira pour l'irrigation du périmètre. Une dérivation sera installée sur celle-ci et aboutira à des abreuvoirs aménagés spécialement pour le bétail.

Le volume mort sera alors de l'ordre 195 744,05 m<sup>3</sup> avec une tranche d'eau de 1,5 m de hauteur maximale.

##### ❖ Type d'ouvrage

Il est constitué :

- d'un bac d'admission amont dont le seuil est calé à la côte 282,25 m, protégée par une grille métallique ;
- d'une conduite en fonte Ø 500 mm, de longueur 41,5 m, enrobée du béton armé de 20 cm d'épaisseur, l'entrée de la conduite est équipé d'une crépine de protection.
- d'un regard aval abritant un robinet vanne Ø 500 mm pour le contrôle du débit d'irrigation.

##### ❖ Capacité

Le débit d'équipement a été estimé à 694 l/s. Le détail des calculs est joint à l'Annexe III.

#### IV.5.5 Ouvrage de vidange

L'ouvrage de vidange permet d'évacuer le barrage en cas de besoin soit pour sécuriser le barrage, pour évacuer les dépôts solides ou pour tout simplement effectuer des travaux. Dans notre cas nous allons utiliser une conduite à charge avec un matériau en acier. La conduite sera posée en tranchée dans le terrain en place vers le point le plus bas du thalweg. On la pose sur des cales puis on les noie dans une enveloppe de béton ordinaire de 0,20 m d'épaisseur au minimum coulé pleine fouille. Le tableau 21 présente ses caractéristiques. Le détail des calculs sont en annexe III.

*Tableau 21: Caractéristique de l'ouvrage de vidange*

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
Côte au PEN	m	283,75
Surface au PEN	m <sup>2</sup>	2016763,12
Cote de l'ouvrage de Vidange	m	281,5
Diamètre de la conduite	mm	Φ1000
Pesanteur	m/s <sup>2</sup>	9,81
Charge d'eau	m	2,25

#### IV.6 Étude comparative des deux variantes

❖ *Impact des déversoirs sur la sécurité de l'ouvrage*

Le calcul de la crue de rupture pour chaque type de déversoir permet d'estimer leur contribution à la sécurité de l'ouvrage. La sécurité de l'ouvrage varie dans le même sens que la crue de rupture. Le tableau 22 présente le résultat de calculs.

*Tableau 22: Résultats de la contribution des déversoirs à la sécurité du barrage*

Déversoirs	Crue de rupture (m <sup>3</sup> )	Contribution à la sécurité (%)
Creager	1076,4	212
Radier Submersible	1076,4	212

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

❖ *Charges d'entretien des déversoirs*

Le tableau 23 ci-dessous fait la synthèse de l'estimation des charges d'entretien.

*Tableau 23: Appréciation de la charge d'entretien des déversoirs*

Déversoirs	Charge d'entretien
Creager	Négligeable (quelques petites réparations sont possibles)
Radier submersible	Négligeable

❖ *Comparaison selon la maîtrise de la technique de construction*

Maitrise de la technologie de mise en œuvre et durabilité des ouvrages.

Pour le même matériau utilisé dans la construction des ouvrages, la durabilité est similaire alors que la maîtrise de la technologie de mise en œuvre varie d'un ouvrage à l'autre. Le tableau 24 présente le résultat des recherches.

*Tableau 24: Technologie de mise en œuvre et de la durabilité des déversoirs*

Déversoirs	Maitrise de la technologie de mise en œuvre	Durabilité
Creager	Difficile à bâtir	durable
Radier submersible	Simple à bâtir mais demande beaucoup de rigueur dans le compactage	durable

❖ *Impact des déversoirs sur le coût du projet*

Le tableau 25 ci-dessous présente la synthèse des résultats du métré y compris la TVA.

Voir détail des calculs en annexe V.

*Tableau 25: synthèse des coûts du projet*

Déversoirs	Coût du projet sans déversoir(FCFA)	Coût des déversoirs(FCFA)	Coût du projet avec déversoir(FCFA)
Creager	471 327 180	203 365 216	696 230 694
Radier submersible		135 932 088	607 259 268

## DISCUSSION

L'analyse des résultats du métré montre que le radier submersible est moins coûteux que le Creager. Cependant l'écart est négligeable par rapport au coût général du projet. Mais d'autres paramètres (la contribution à la sécurité, et la maîtrise de la technique de construction, la facilité à être rehaussé...) permettent de comparer les déversoirs. Le graphique 9 présente une comparaison entre les coûts de réalisation.

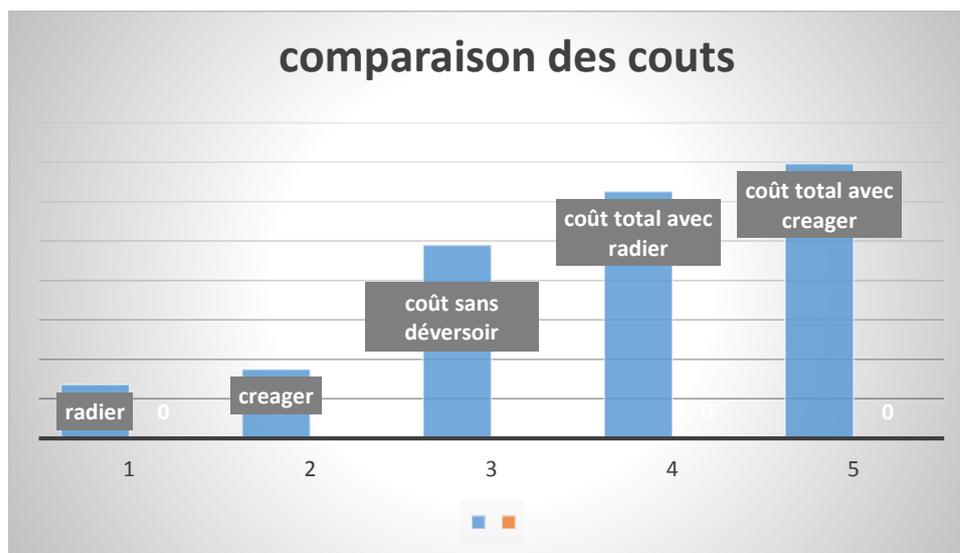


Figure 9: Comparaison des coûts

- Le Creager est un ouvrage qui par sa forme à l'aval, n'est pas simple à bâtir. Les charges d'entretien du Creager sont négligeables. Il provoque également l'enclavement des villages environnants.
- Le radier submersible est plus simple à bâtir. Il permet d'assurer la liaison entre les différents villages. Cependant, un défaut de compactage aura pour conséquence la destruction du barrage à court terme.
- La comparaison suivant la facilité à être rehaussé, place le creager devant le radier submersible. En effet les blocs fusibles sont une solution pour rehausser le PEN du Creager. Le tableau 26 présente un résumé des différentes comparaisons.

---

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

*Tableau 26: Comparaison suivant les différents paramètres*

Désignation	Creager	Radier Submersible
Coût	Plus coûteux	Moins coûteux
Durabilité	Durable	Durable
Entretien	Facile	Facile
Mise en œuvre	Complexe	Facile
Rehaussement	Facile	Difficile
Liaison entre village	Enclavement	Désenclavement

L'analyse de l'étude comparative nous permet de dire que le déversoir en radier submersible est le mieux adapté au barrage de Dianga.

## **V. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

Le présent mémoire a porté sur l'étude comparative de deux types de déversoirs (Creager et Radier Submersible), dans le cas de la reconstruction du barrage de Dianga dans la commune de Tibga au Burkina Faso. La méthodologie adoptée a permis de dimensionner d'une part un barrage dont la capacité est de 2 068 905 m<sup>3</sup> et d'autre part de dimensionner et de comparer deux types de déversoirs. L'analyse des résultats montre que l'écart entre les coûts de réalisation des deux types de déversoirs est d'environ 11% du coût général du projet (607 259 268 FCFA). La comparaison des autres paramètres a également permis de classer le Radier Submersible devant le Creager.

À la fin de cette étude, nous recommandons :

- La mise en place d'un comité de gestion, pour assurer le suivi et l'entretien de l'ouvrage ;
- L'implication des services techniques dans le suivi et l'entretien de l'ouvrage ;
- La réalisation d'un radier submersible pour le choix final du déversoir.

## VI. BIBLIOGRAPHIE

- F.A.O, (1996). Crues et apports : Manuels pour l'estimation des crues décennales et apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche.
- GUEYE.Ismael (2011-2012). Cours de Barrage Licence 3, p.73, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.
- GRESILLON.J-M et T. METRO (1979). Corrélations relatives aux petits barrages :  
Choix et optimisation d'un évacuateur de crues
- GRESILLON.J-M, HERTER.P et LAHAYE.J-P, (1976). Note sur le dimensionnement des ouvrages de crues en Afrique de l'Ouest sahélienne et tropical.
- KARAMBIRI.H, (1998). Étude de l'envasement des barrages au Burkina Faso : Étude de cas, p.21, Thèse de doctorat.
- O.N.B.A.H (1990). Projet PNUD BKF 88/002 pour étude topographique et bathymétrique de 25 retenues d'eau.
- DURAND.J-M (1996). Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique (version provisoire), *EIER Ouagadougou, Burkina Faso*.
- DURAND.J-M, ROYET.P (1999). Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale.
- LO.Moussa (2016/2017). Cours de Barrage Master II, p.27, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.
- MESSAN.Adama (2015). Cours de Béton Armé3 Master I, p.29, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.
- RODIER (1975). Évaluation de l'écoulement annuel dans les régions sahéliennes et tropicales Sèches.
- KOUAME.K (1993). Cours Hydraulique générale Licence 2, P.23, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.

VII. ANNEXES

ANNEXE I : SYNTHÈSES DES ÉTUDES DE BASES.....	55
ANNEXE I. 1 ÉTUDE SOCIO-ÉCONOMIQUE.....	55
ANNEXE I. 4 NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	56
ANNEXE I. 5 ÉVALUATION DU COUT DU PGES.....	60
ANNEXE II: ÉTUDE HYDROLOGIQUE.....	60
ANNEXE II. 1 SYNTHÈSE DE L'ANALYSE FRÉQUENTIELLE DES PLUIES.....	60
ANNEXE II. 2 CARACTÉRISATION DU BASSIN VERSANT.....	65
ANNEXE II. 3 ESTIMATION DES APPORTS.....	74
ANNEXE III: ÉTUDE DE LA CUVETTE.....	84
ANNEXE III. 1 COURBE HAUTEUR-SURFACE-VOLUME.....	84
ANNEXE III. 3 ÉVALUATION DES PERTES DE LA RETENUE.....	86
ANNEXE III. 4 ESTIMATION DES BESOINS.....	87
ANNEXE III. 5 LA DIGUE.....	89
ANNEXE III. 6 : OUVRAGE ANNEXES.....	92
ANNEXE IV: DIMENSIONNEMENT DES DÉVERSOIRS.....	94
ANNEXE IV. 1: DÉVERSOIR CREAGER.....	94
ANNEXE V: MÈTRE ET DEVIS.....	122
ANNEXE VI : CARTES ET PLANS.....	128

*ANNEXE I : SYNTHÈSES DES ÉTUDES DE BASES*

*ANNEXE I. 1 ÉTUDE SOCIO-ÉCONOMIQUE*

Selon le rapport d'étude mené par SERAT/BERCI, le barrage de Dianga a pour objectif principal :

- D'améliorer et sécuriser la disponibilité de l'eau pour les populations riveraines et le bétail :

La présence du plan d'eau permettra la satisfaction de nombreux besoins en eau des populations et des animaux. Les besoins de lavage, de construction, d'artisanat et de consommation (à partir des puisards) seront comblés par le volume d'eau stockée dans le barrage. Ainsi que, les animaux de l'élevage domestique, le cheptel des environs du village, de même que les animaux en transhumance s'abreuvent dans le barrage ;

- De contribuer à la recharge de la nappe phréatique.

La présence du barrage va favoriser une alimentation conséquente de la nappe phréatique grâce à l'infiltration.

- De permettre l'exploitation agricole :

Le volume d'eau stocké va favoriser le développement d'une exploitation agricole surtout à cause de du périmètre irrigué projeté à l'aval du barrage et des superficies qui seront certainement exploitées autour de la retenue. Les spéculations qui seront pratiquées sont principalement la tomate, l'oignon, le chou, le maïs, la patate, la pomme de terre.

- De développer la pêche artisanale :

Le plan d'eau du barrage favorisera le développement d'une faune aquatique notamment de poissons qui sont pêchés à la ligne et par d'autres techniques artisanales.

- De contribuer à la restauration de l'écosystème :

La présence du plan d'eau va occasionner la naissance d'une formation végétale naturelle qui bordera les alentours de la cuvette.

L'étendue de cette formation est variable. Elle peut être limitée à un cordon arboré étroit qui borde le plan d'eau. Elle peut également être une véritable forêt alluviale qui peut s'étendre sur plusieurs dizaines voire centaines de mètres autour de la cuvette. C'est un milieu riche en termes de diversité floristique.

- D'améliorer les conditions sociales et économiques :

La présence du barrage va contribuer à la réduction de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire de la localité.

- D'offrir des conditions de développement :

Le barrage va inciter l'introduction des techniques nouvelles à travers des activités modernes de production.

ANNEXE I. 4NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Tableau 27 : Plan de mise en œuvre des mesures d'atténuation

Impacts négatifs potentiels	Mesures d'atténuation	Responsabilités		Phase du projet
		Planification	Mise en œuvre	
<b>Risque de blessures lors du débroussaillage et dessouchage, remblaiement et déblaiement</b>	Sensibiliser les ouvriers sur le terrain. Doter chaque équipe d'une trousse de premiers secours	BUNED, entreprise	MDC, Entreprise	Pendant les travaux
<b>Transmission de maladies sexuellement transmissibles, grossesse non désirée</b>	sensibilisation du personnel ouvrier	MAH, commune	Entreprise, MAH, Entreprise,	Avant et au cours des travaux
	sensibilisation des populations	MAH, commune	Entreprise, MAH, commune	Avant et au cours des travaux
<b>Nuisances diverses</b>	Gestion efficace des déchets solides et liquides Interdiction de travailler la nuit sauf dérogation faisant l'objet d'accord communal	Population, Entreprise, commune	Entreprise	Pendant les travaux
<b>Détérioration de la qualité de l'air ambiant</b>	Arrosage périodique et fréquent des pistes à la traversée des villages	MAH, BUNED, MDC, Entreprise	Entreprise	Pendant les travaux

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

<b>Perturbation de la circulation locale pendant les travaux</b>	Faire respecter les normes de circulation	MAH, BUNED, Entreprise	MAH, Entreprise,	Pendant les travaux
<b>Destruction de la végétation</b>	Sensibilisation du personnel travaillant sur les respects de l'environnement	MAH, BUNED, MDC, Entreprise	MAH, Entreprise,	Pendant les travaux
	Contrôles périodiques des respects de l'environnement	MAH, BUNED, MDC, Entreprise et commune	BUNED, MDC	Pendant les travaux
	Plantation de compensation dans les villages limitrophes de chaque site Aménagement des berges du barrage pour assurer sa protection	MAH, BUNED, MDC, Entreprise et commune	Entreprise, commune	Après les travaux lourds
	Restauration des carrières	MAH, BUNED, MDC, Entreprise	Entreprise	Après les travaux
<b>Braconnage</b>	Renforcement des capacités des services locaux de l'environnement	Direction de l'environnement, MAH, BUNED,	Direction de l'environnement,	Après les travaux
	Interdiction au personnel l'abatage des animaux sauvages	MAH, BUNED, Entreprise	Entreprise	Pendant les travaux
<b>Diminution des quantités d'eau par les prélèvements abusifs</b>	Interdiction de prélèvement au niveau des points d'eau sensibles	MAH, BUNED Entreprise et populations.	Entreprise	Pendant les travaux
<b>Pollution des eaux par des polluants laissés sur le sol</b>	Sensibilisation du personnel travaillant sur les chantiers	MAH, BUNED, MDC, Entreprise	MAH, Entreprise	Pendant les travaux
	Bonne gestion des déchets	MAH, BUNED, MDC, Entreprise	Entreprise	Pendant et Après les travaux
<b>Érosion et ensablement</b>	Aménagement et protection des berges selon la réglementation en vigueur	MAH, MDC, Entreprise	Entreprise, service forestier local	Vers la fin des travaux

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

<b>Perte des plantations, de maisons et des terrains</b>	Indemnisation des propriétaires et leur réinstallation sur d'autres sites	MAH, Entreprise et commune	Entreprise et commune	Au démarrage des travaux
--	---	----------------------------	-----------------------	--------------------------

**Tableau 26: Plan des suivis environnementaux et sociaux du projet**

<b>Composante du milieu</b>	<b>Activités à mener</b>	<b>Localisation</b>	<b>Paramètres/ Indicateurs de suivi</b>	<b>Période</b>	<b>Responsabilités</b>
<b>Santé publique et Sécurité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Campagne de sensibilisation sur les IST/VIH-SIDA</li> <li>• Sensibilisation sur l'hygiène et l'assainissement</li> <li>• Mise en place d'une unité de santé pour la prise en charge rapide des accidents de chantier</li> <li>• Mise en place de balises, de signalisations et de panneaux de chantier</li> <li>• Dotation d'équipements adéquats</li> <li>• Interdictions de travaux de nuits, de consommations d'alcool et excitants par le personnel</li> <li>• Information et sensibilisation des populations sur les risques liés à la présence du chantier</li> <li>• Respect des lieux de culte</li> <li>• Signalisation de tout vestige culturel ou archéologique découvert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chantier d'accès aux sites</li> <li>• Pistes d'emprunts et des carrières</li> <li>• Déviation des domiciles des populations</li> <li>• Environnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de maladies respiratoires</li> <li>• Arrosage du chantier</li> <li>• Nombre de séances de sensibilisations</li> <li>• Existence de mini santé</li> <li>• Existence de balises et panneaux de signalisations</li> <li>• Nombre d'accidents observés.</li> </ul>	Avant et pendant les travaux	MDC CS

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

<b>Patrimoine culturel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensibilisation des ouvriers à l'évitement de la profanation de lieux sacrés</li> <li>Signalisation de toute découverte de vestiges culturels ou archéologiques</li> </ul>	•Sites du projet	Adhésion des Autorités coutumières Pas de profanation de sites culturels	Pendant les travaux	Autorités Coutumières Mairies MDC CS
<b>Emplois</b>	•Recrutement de la main d'œuvre locale	•Populations	Nombre de personnes embauchées	Pendant les travaux	Entreprise
<b>Circulation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contournement dans la mesure du possible les lieux par les véhicules et engins de chantier</li> <li>Imposition aux chauffeurs d'une limitation de vitesse sur le chantier, les déviations, les croisements</li> <li>Maintien en permanence la circulation et l'accès des riverains à leurs habitations</li> <li>Mise en place de signalisation adéquate</li> <li>Réglementation de la circulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chantier</li> <li>Base-vie</li> <li>Parking</li> <li>Zones d'emprunts et carrières</li> </ul>	Existence de panneaux de signalisation Contournement des lieux fréquentés Nombre d'accidents Respect des limitations de vitesse Entretien du tronçon	Pendant les travaux et exploitation du tronçon	MDC CS Mairie

### *ANNEXE I. 5 ÉVALUATION DU COUT DU PGES*

Les plantations d'arbres, l'aménagement des berges, les indemnités pour pertes d'arbres, les activités de suivi périodique, de surveillance et de contrôle constituent le coût des mesures environnementales. D'autres activités comme la protection des berges et les actions de restauration de l'environnement seront à la charge de l'entreprise. Quant aux activités de suivi périodique, de surveillance et de contrôle, elles seront assurées par la MDC et le BUNED.

Cependant plusieurs facteurs non maîtrisables à ce stade du projet font que le coût global proposé est à titre indicatif. Il est estimé à 34 546 000 FCFA HTVA, soit 40 764280 FCFA TTC.

### *ANNEXE II: ETUDE HYDROLOGIQUE*

#### *ANNEXE II. 1 SYNTHÈSE DE L'ANALYSE FRÉQUENTIELLE DES PLUIES*

##### **I. Étude climatique**

###### **1. Couverture Météorologique et choix de la station de référence**

Le site du projet se situe à une cinquantaine de kilomètres du chef-lieu de région à savoir Fada N'gourma. Ainsi, les relevés pluviométriques, d'évaporation et de température de cette station serviront de base pour l'estimation des paramètres climatiques.

###### **2. Pluviométrie annuelle et journalière**

Les données météorologiques recueillies dans la station énumérée précédemment sont exploitées dans le cadre de la présente étude. Les séries de relevés utilisées pour les pluies journalières maximales, mensuelles et annuelles sont celles de la période allant de 1970 à 2016 soit une durée de 47 années, suffisantes pour une analyse statistique.

###### **✦ Pluviométrie annuelle**

Le cumul des pluviométries enregistrées sur différentes années présentés sur le graphique montre les valeurs minima et maxima de la période donnée, soit 568 mm et 1072.9 mm correspondant respectivement aux années 1990 et 2008. La tendance à la baisse est d'une manière générale perçue dans le temps et dans l'espace lorsque la série chronologique est analysée comparativement dans deux intervalles se situant avant et après les années 70 ou 80 qui constituent la période de grande rupture pluviométrique bien qu'inversement les averses

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

sont de plus en plus grandissantes. Il faut aussi noter que l'essentiel de ces pluviométries sont enregistrés dans l'intervalle Mai à Septembre, avec une amplitude au mois d'Août.

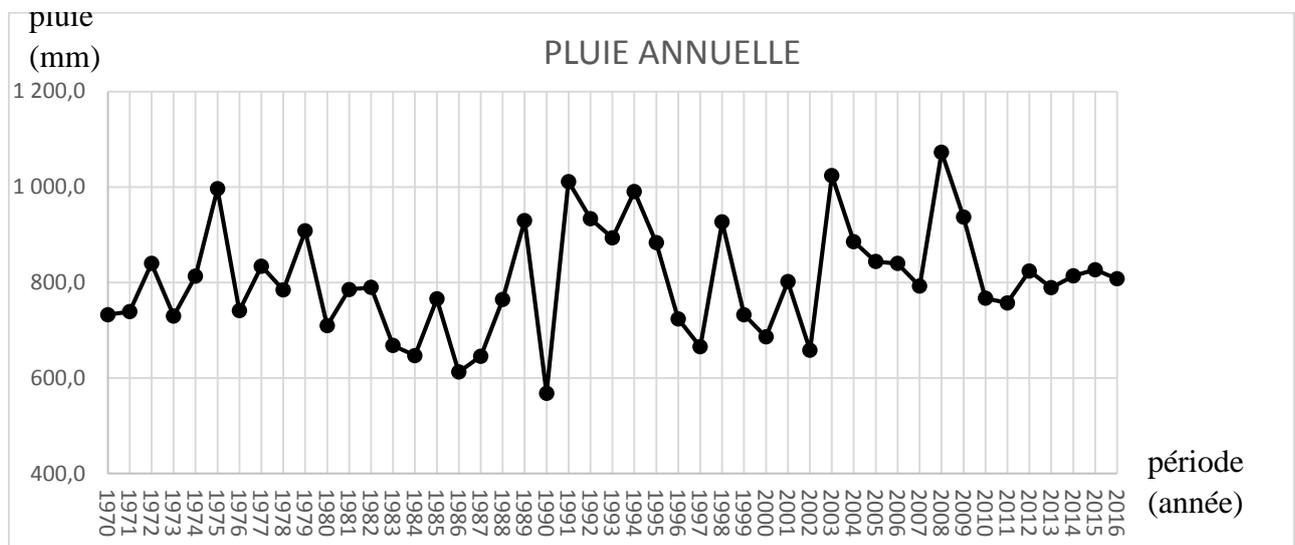


Figure 1 : Pluviométrie annuelle de Fada de 1970 à 2016

- Pluviométrie maximale journalière

Contrairement à la pluie annuelle, il est difficile d'affirmer une tendance pour la pluviométrie de valeur extrême même si les crues et inondations sont de plus en plus récurrentes demeurent relativement imputables en partie aux comportements anthropiques surtout en Afrique (occupation des zones inondables, transformations des exutoires et chemin d'écoulement, etc.). Toutefois, il y'a une variation remarquable au cours des dernières années qui commande une prise en compte par l'actualisation de certains paramètres.

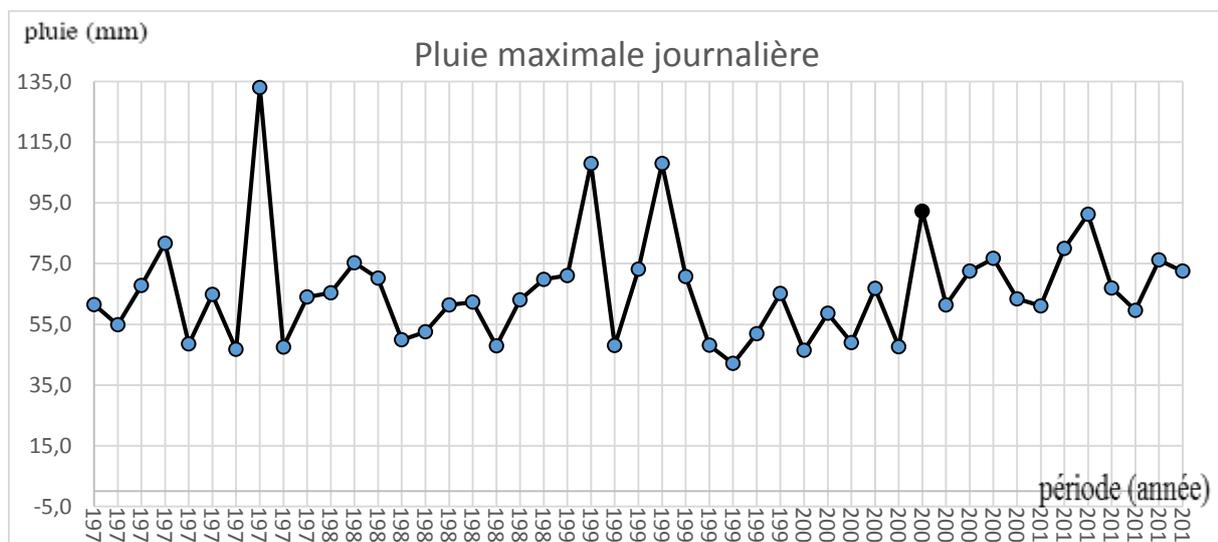


Figure 2: Pluviométrie maximale journalière de 24h à la station de Fada entre 1970-2016

✦ Température et évaporation

L'étude de la température et de l'évaporation a été réalisée à partir des relevés de la station de Fada N'gourma sur un échantillon de 47 valeurs, de 1970 à 2016.

Le tableau suivant présente les valeurs moyennes de la température et de l'évaporation au BAC A selon les périodes de l'année à la station de Fada N'gourma.

Tableau 1: Valeurs moyennes de l'évaporation bac A et de la température.

Mois	Évaporation Bac A (mm)	Température (°c)
Janvier	270	25.29
Février	289	27.98
Mars	350	31.11
Avril	320	32.59
Mai	286	31.31
Juin	217	28.75
Juillet	169	26.87
Août	133	26.03
Septembre	135	26.61
Octobre	185	28.37
Novembre	228	27.27
Décembre	248	25.57
Total	2830	----
Moyenne	---	28.2

**(Direction Nationale de la Météorologie, 2017)**

### 3. Les pluviométries caractéristiques

Les relevés des pluies annuelles et journalières pour de longue période (1970-2016) ont été analysés pour la détermination des pluviométries caractéristiques de différente période de retour. Les pluies annuelles ont été ajustées à la loi Normale ou loi de Gauss tandis que celle maximales journalières (valeurs extrêmes) ont été ajustées à la loi Gambel.

Les résultats montrent que les séries de données recueillies s'ajustent bien respectivement avec ces deux lois.

Tableau 2: Paramètres et valeurs caractéristiques des échantillons de pluie annuelle

Paramètres descriptives des échantillons de la série de 1970 à 2016 (Fada N'gourma)	
Paramètres	Valeurs

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Médiane	792
Moyenne (mm)	805.77
Ecart-type (mm)	114.25
Pluie minimale (mm)	568
Pluie maximale (mm)	1072
Coefficient de variation	14.18%

Tableau 3: Paramètres et valeurs caractéristiques des échantillons de pluie de 24h

Paramètres descriptives des échantillons de la série de 1970 à 2016 (Fada N'gourma)	
Paramètres	Valeurs
Médiane	64
Moyenne (mm)	65.915
Ecart-type (mm)	18.082
Pluie minimale (mm)	42
Pluie maximale (mm)	133
Coefficient de variation	27.432%

Tableau 4: Pluies maximales journalières caractéristiques de différentes périodes de retour

Pluie maximale journalière de 24h de différentes périodes de retour (mm)		
Période de retour (année)	Période humide	Période sèche
T=2	62.856	62.856
T=5	77.451	52.00
T=10	<b>87.114</b>	47.398
T=20	96.383	44.01
T=50	108.38	40.57
T=100	117.37	38.47

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Tableau 5: Pluies moyennes annuelles caractéristiques de différentes périodes de retour

Pluie moyenne annuelle de différentes périodes de retour (mm)		
Période de retour (année)	Période humide	Période sèche
T=2	805.77	805.77
T=5	901.91	709.63
T=10	952.21	659.32
T=20	993.74	539.92
T=50	1040.5	511.42
T=100	1071.6	452.66

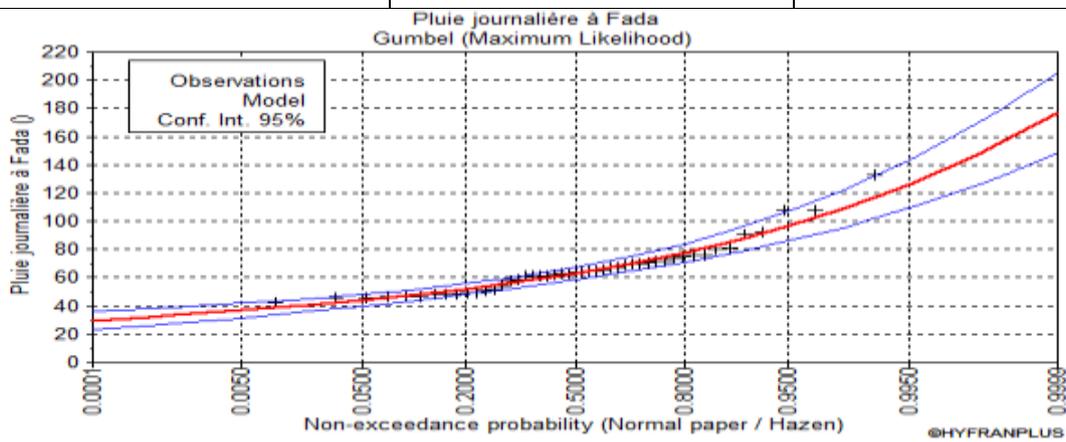


Figure 3: Courbe d'ajustement des pluies maximales journalières

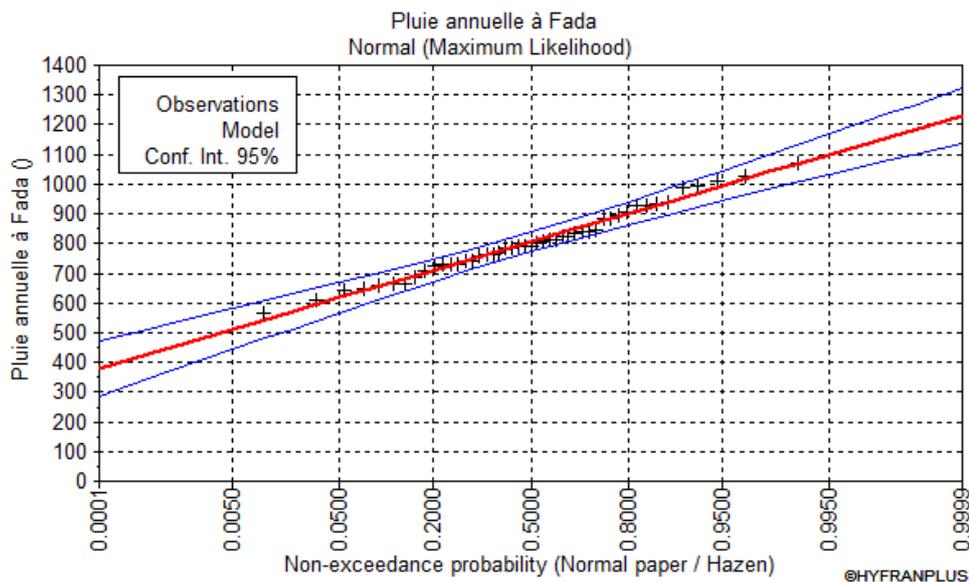


Figure 4: Courbe d'ajustement des pluies annuelles

#### **4. Paramètres morphologiques et hydrologiques du bassin versant**

##### **a. Dispositions prises pour tenir compte des changements climatiques**

- Le coefficient de ruissèlement le plus élevé parmi les deux méthodes est considéré pour le calcul de débit ;
- Le débit décennal le plus élevé parmi les deux méthodes est considéré ;
- Le débit de projet ne sera pas laminé (pas de laminage de crue) ;

##### **b. Réseau hydrographique**

En se référant aux cartes IGN feuilles de la région de Fada N’gourma, à l’échelle 1/200.000<sup>ème</sup> et du logiciel global mapper, le cours d’eau du barrage fait partie du réseau hydrographique local.

### *ANNEXE II. 2 CARACTÉRISATION DU BASSIN VERSANT*

La détermination des caractéristiques morphologiques du bassin-versant a été réalisée à partir des documents cartographiques, des informations bibliographiques.

La carte IGB à l’échelle 1/200.000<sup>ème</sup> de Fada N’gourma et le logiciel global mapper ont été utilisées pour délimiter le bassin-versant, analyser le relief et estimer ses paramètres morphologiques.

#### **1. La superficie, le périmètre et la longueur du cour d’eau principal**

La délimitation de la superficie du bassin-versant s’est effectuée de la manière suivante :

- La carte IGB au 1/200.000<sup>ème</sup> de Fada N’gourma

Les contours du bassin-versant ont été repérés et dessinés à partir de la carte IGB au 1/200.000<sup>ème</sup> de Fada N’gourma.

Ensuite, le bassin-versant a été reporté sur AUTOCAD à la même échelle ;

Enfin, la superficie et le périmètre du bassin-versant ainsi que la longueur du cour d’eau principal ont été déterminés sur AUTOCAD.

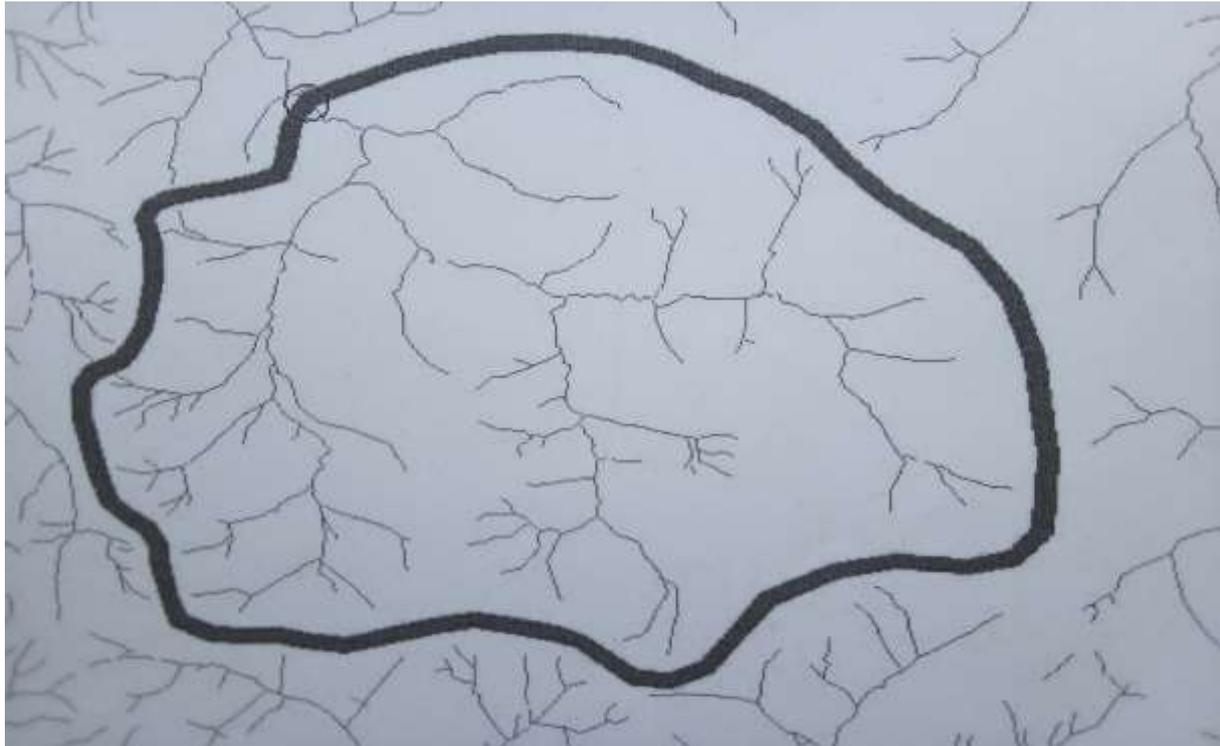


Figure 5: Le bassin-versant de Dianga (carte IGB)

- Logiciel GLOBAL MAPPER

L'utilisation de ce logiciel a permis de générer ces mêmes paramètres.

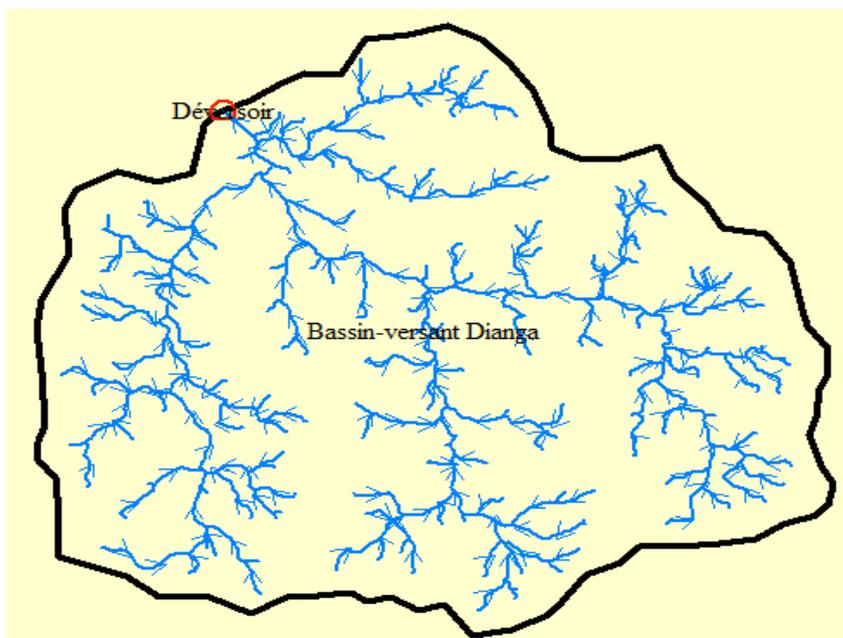


Figure 6: Le bassin-versant de Dianga (Global mapper)

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Résumé des valeurs des deux méthodes

Paramètres	Carte IGB		GLOBAL MAPPER
Superficie (km <sup>2</sup> )	422.36		429.97
Périmètre (km)	80,04		84.479
Longueur du cour d'eau principale (km)	28.39		30.081

Pour la suite de notre étude nous allons utiliser les résultats obtenus avec le logiciel GLOBAL MAPPER, car la superficie est plus élevé à la mai.

## 2. La pente longitudinale du bassin

Formule de GRÉSILLON  $I = \frac{0.026}{\sqrt{S}}$  d'où  $I = 0.00125 \text{ mm/m}$

D'où  $I = 1.25\%$ .

## 3. La perméabilité du sol

La carte géologique du Burkina Faso au 1/1.000.000<sup>ème</sup> en référence aux travaux de G.Hottin et O.F.OUEDRAOGO a permis d'identifier les différents types de sols du bassin versant.

L'exploitation de cette carte montre que le sol du bassin-versant du barrage de Dianga est en majorité composé de sols argileux. Par ailleurs, l'ORSTOM a défini la classe de perméabilité en fonction du type de sol et de sa perméabilité.

On peut donc classer le bassin versant dans la classe de perméabilité RI pour caractériser les sols du bassin-versant du barrage de Dianga.

## 4. Classification du bassin-versant

À l'issue des études citées plus haut, RODIER et AUVRAY ont classé les bassins-versants en fonction des pentes (classes de relief) et de la perméabilité (géologie et nature du sol).

Le bassin-versant du barrage de Dianga est donc du type RI.

## 5. Indice de compacité de GRAVELUS

Appelé également coefficient de forme, il correspond au rapport du périmètre du bassin-versant à celui d'un cercle de même forme.

Icomp = indice de compacité de GRAVELUS est défini par la formule suivante :

$$I_c = \frac{0.282 * P}{\sqrt{S}}$$

Ainsi, pour un bassin-versant de forme allongé,  $I_{comp} > 1$  et pour un bassin-versant de forme arrondie,  $I_{comp} \leq 1$ .

On a  $I_{comp}=1.17$  donc le bassin-versant du site de barrage de Dianga est en réalité de forme allongé H.KARAMBIRI (LE BASSIN VERSANT ET SON COMPLEXE).

### **6. Longueur du rectangle équivalent**

C'est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin-versant étudié.

Sa longueur est donné par :

$$L_{eq} = \frac{P + \sqrt{(P^2 - 16 * S)}}{4}$$

Avec :

- S = superficie du bassin-versant en Km<sup>2</sup>
- P = périmètre du bassin-versant en Km

La longueur du rectangle équivalent  $L_{eq}$  est donné par :  $L_{eq} = 25.13$  Km.

### **7. Largeur du rectangle équivalent**

La largeur du rectangle équivalent est le rapport entre la superficie et la longueur du rectangle équivalent :  $l = \frac{S}{L_{eq}}$ . D'où  $l = 17.11$  Km.

### **8. Indice global de pente (Ig)**

L'indice global de pente caractérise le relief du bassin versant. On le détermine par la courbe hypsométrique du bassin versant par la relation suivante :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

$H_{5\%}$  : altitude au-dessus de laquelle sont situées 5% de la superficie du bassin versant ;

$H_{95\%}$  : altitude au-dessus de laquelle sont situées 95% de la superficie du bassin versant.

L : longueur du rectangle équivalent.

Mais notre bassin versant est en forme d'éventail, dans ce genre cas l'indice global de pente est calculé avec la largeur du rectangle équivalent (l).

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{l}$$

La courbe hypsométrique est présentée ci-dessous :

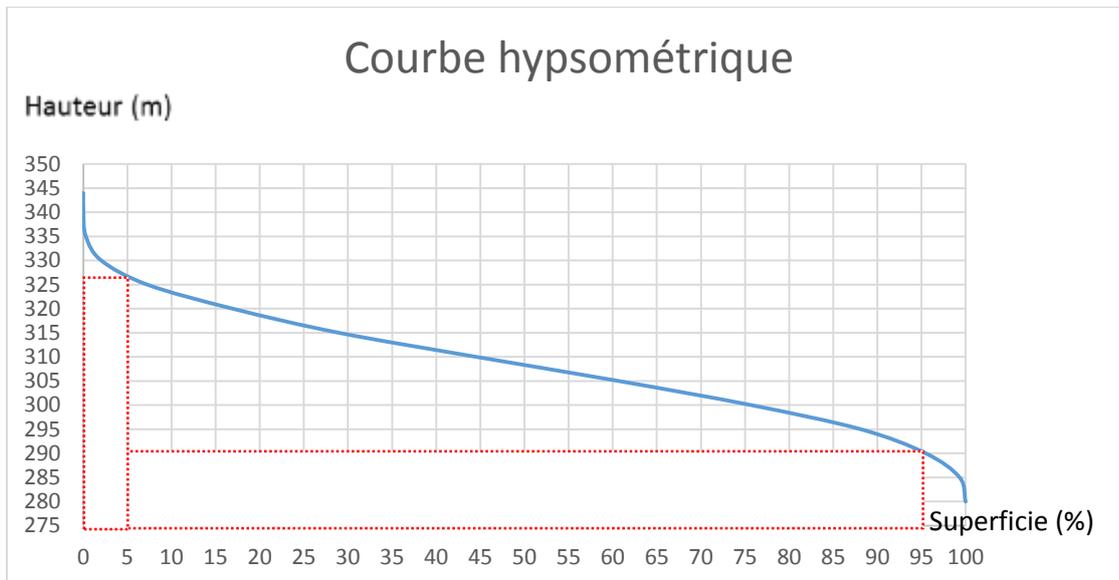


Figure 7 : Courbe hypsométrique du site de Dianga.

$H_{5\%}=327\text{m}$  ;  $H_{95\%}=290\text{m}$  ;  $I_g=2.16\text{m/Km}$  ;

**Indice global de pente corrigé (I<sub>gcor</sub>)** : cet indice permet de prendre en compte les grandes variations des pentes transversales qui sont généralement rencontrées entre l'amont et l'aval du bassin versant.

$$I_{gcor} = \frac{(n-1) \cdot I_g + I_t}{n}$$

$$I_{ret} = I_{gcor} \text{ si } \frac{I_t - I_g}{I_t} > 20\%, \text{ sinon } I_{ret} = I_g.$$

Les valeurs de n sont définies en fonction de la longueur équivalente.

n=2 Pour  $L < 5 \text{ km}$

n=3  $5 \text{ km} < L < 25 \text{ km}$

n=4  $25 \text{ km} < L < 50 \text{ km}$

n=5      50Km<L

Et L=25.13Km D'où n=4

Pour  $I_g = 2.88$  m/Km avec une pente transversale  $I_t = 5.04$  m/Km, on a

$$\frac{I_t - I_g}{I_t} = 57.14\%$$

$I_{gcor} = 2.88$  m/Km.

### 9. Dénivelée spécifique (Ds)

C'est le produit de l'indice global de pente par la racine carré de la superficie du bassin versant.

Dénivelée spécifique (DS) ;

$D_s = I_g * S^{0.5}$  d'où  $D_s = 59,75$ .

On peut distinguer plusieurs types de relief en fonction de  $D_s$ .

Tableau 7 : Dénivelée spécifique en fonction du relief

Ds(m)	Relief
$D_s < 50$	Relief faible
$50 < D_s < 100$	Relief modéré
$D_s > 100$	Relief fort

On a  $D_s = 59,75$  (en %) ; le relief du bassin versant est dite modéré.

### 10. Le coefficient de ruissèlement décennal

Le coefficient de ruissèlement décennal  $Kr_{10}$  représente le rapport entre la quantité de pluie tombée sur le bassin versant et la quantité qui s'écoule à travers l'exutoire considéré. Ce coefficient varie avec la perméabilité du sol, la pente, la couverture végétale, la nature du réseau hydrographique et la superficie du bassin versant. En considérant les résultats des études publiées dans le bulletin FAO N°54 « prédétermination de crues de fréquence décennal dans les régions sahéniennes et tropicales sèches », on retient plusieurs méthodes dont deux méthodes que nous définissons et exploitons dans le cadre de cette étude.

- **La méthode PUECH et CHABI –GONNI et la méthode ORSTHOM**

---

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Ces méthodes sont fonction de la zone climatique et substrat, et utilise les résultats des régressions obtenues sur la base du substrat géologique et de la précipitation annuelle.

L'évaluation de Kr10 se fait en (%) en fonction de la géologie et de la pluie annuelle, déterminée par PUECH et CHABI-GONNI EN 1983, est donnée par le tableau suivant :

Tableau 8: Formules de calcul du coefficient de ruissèlement.

<b>Catégorie</b>	<b>Formation</b>
Granite+gneiss	$Kr10=2300Pan^{-0.67}$
Grès	$Kr10=300Pan^{-0.375}$
Sables	$Kr10=2 \times 10^7 Pan^{-2.2}$
Argiles	$Kr10=300Pan^{-0.3}$
Schistes	$Kr10=370Pan^{-0.375}$

L'exploitation de la carte géologique du Burkina et de l'étude géotechnique montre que le bassin versant du barrage est à dominance argileuse et on peut, de ce fait, utiliser la formule suivante :

$$Kr10=300Pan^{-0.3}$$

$$Pan \text{ (mm)}=806,2 \text{ Kr10(\%)}=40.3$$

- **Méthode analytique d'ORSTOM**

Cette méthode permet de calculer Kr10 par ajustement des courbes Kr70 et Kr100 en fonction de la zone climatique, de la superficie du bassin versant, de la perméabilité du sol et l'indice global de pente Ig.

Les coefficients de ruissèlement Kr70 et Kr100 correspondent à des précipitations  $P_{10-1}=70$  mm et  $P_{10-2}=100$  mm ont été déterminé, en fonction de la superficie du bassin versant pour la classe d'infiltrabilité et pour la valeur de l'indice global de pente.

Pour une précipitation décennale ponctuelle  $P_{10}$  différente de 70 et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissèlement Kr10 est faite par extrapolation linéaire entre les valeurs Kr70 et Kr100.

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Ces valeurs sont déterminées graphiquement à l'aide des courbes empiriques ou à partir de formules analytiques de forme générale  $Kr_{70}$  ou  $Kr_{100} = \frac{a}{(b+S)} + c$

Ces formules s'appliquent toute fois qu'à des bassins dont la superficie est supérieure à 10km<sup>2</sup>.

La pente  $I_g$  du bassin en étude est 2.88 m/Km. Il sera défini par des interpolations ou extrapolations linéaires de l'intervalle  $I_g$  et de celui de la pluviométrie décennale humide qui est de 86.50 située entre 70 et 100 mm. La pluviométrie annuelle moyenne est de 806.2 mm et compte tenu des facteurs climatiques, on estime le bassin dans la zone sahélienne.

Les tableaux ci-dessous présentent les valeurs des paramètres a, b, et c de la formules de  $I_g$  de valeur 3 et 7 en fonction de la superficie  $S = 429.97$  km<sup>2</sup>, des indices global  $I_g$  et de la perméabilité P3.

Tableau 9 : Valeurs des variations a, b et c pour  $I_g=3$

S (Km <sup>2</sup> )	Kr	A	B	C
429.97	$Kr_{70}$	164	17	10.5
429.97	$Kr_{100}$	250	20	12

Tableau 10 : Valeurs des variations a, b et c pour  $I_g=7$

S (Km <sup>2</sup> )	Kr	A	B	C
429.97	$Kr_{70}$	239	17.7	14.5
429.97	$Kr_{100}$	300	20	15

Les résultats ont donnés, pour le barrage de Dianga, les valeurs suivantes :

Tableau 11 : Valeurs du coefficient de ruissèlement  $Kr_{10}$

P10	Infiltrabilité	S	$I_g$	a	b	C	$Kr_{10}$
70	RI	429.97	3.00	164	17	10.5	
	RI	429.97	7.00	239	17.7	14.5	
	RI	429.97	2.88	-	-	-	10.74

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

100	RI	429.97	3.00	250	12	12	
	RI	429.97	7.00	300	15	15	
	RI	429.97	2.88	-	-	-	12.46
86.50	RI	429.97	2.88	-	-	-	11.69

**11. Analyse et choix de résultat :**

La première méthode ORSTOM de PUECH et CHABI-GONNI a donné un  $Kr_{10}$  égal à 40.3%.

La seconde méthode type analytique d'ORSTOM a permis d'estimer  $Kr_{10}$  à 11.69%.

De ces deux méthodes on pouvait retenir la moyenne ou celle qui semble plus précise.

Cependant, compte tenu des effets des changements climatiques ou les crues semble de plus en plus violentes, on adoptera la plus forte valeur qui est de 40.3%. C'est cette valeur qui sera utilisée pour l'évaluation de la crue décennale.

**- Récapitulatif des caractéristiques du bassin-versant**

Les caractéristiques physiques ou géomorphologiques du bassin-versant déterminés ci-dessus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant.

Symbole	Définition	Valeur	Unité
S	Superficie	429.97	Km <sup>2</sup>
P	Périmètre	84.48	Km
I	Pente Longitudinale	1.25	‰
L	Longueur du rectangle équivalent	25.13	Km
Icomp	Indice de compacité	1.17	-
Ig	Indice global de pente	2.88	m/Km
	Régime climatique	Sahélien	-
$Kr_{10}$	Coefficient de ruissèlement décennal retenu	40.3	%
Ds	Dénivelé spécifique	59.75	m

---

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

K	Coefficient de pointe	2.6	-
-	Classe de relief	Relief modéré	-
-	Classe de perméabilité	RI	-
	Type de bassin-versant	Allongé	

*ANNEXE II. 3 ESTIMATION DES APPORTS.*

**A. ÉTUDE DES CRUES**

Du point de vue technique et économique, les résultats de l'étude économique permettent de modéliser et de simuler un ouvrage hydraulique efficient par rapport au coût d'investissement, à l'importance socio-économique et financière des infrastructures en aval. Ces facteurs permettent d'évaluer les risques pour dimensionner les ouvrages d'où la notion de crue de projet. La crue qui est caractérisée par un débit de fréquence rare exprime une augmentation instantanée du volume qui transite par le cour d'eau. La crue de projet adoptée est celle que l'ouvrage doit être capable d'évacuer sans dommages : afin de se mettre dans une plus grande sécurité, donc le barrage de Dianga sera dimensionné pour évacuer la crue centennale, c'est-à-dire la crue susceptible de se produire une fois tous les 100 ans.

Le cour d'eau du bassin versant de Dianga n'est pas assez remarquable ni pérenne, donc non jaugé, on a recours à des méthodes déterministes développées par ORSTOM et CIEH qui font appelle à plusieurs paramètres.

**1. Détermination des paramètres de calcul**

**a. Pluie journalière décennale ( $P_{10}$ ) et centennale journalière ( $P_{100}$ )**

Les pluies décennales journalières ( $P_{10}$ ) et centennale journalière ( $P_{100}$ ) sont déterminées avec le logiciel HYFRANPLUS à partir des séries pluviométriques relevées à la station de référence.

Tableau 13 : Pluie journalière décennale et centennale.

Station	Nombre d'années d'observations	$P_{10}$ (mm)	$P_{100}$ (mm)
Fada N' gourma	47	87.114	117.37

**b. Le coefficient d'abattement A**

Le coefficient d'abattement <<A>> représente l'abattement de la pluie en un point sur la zone d'influence.

Le coefficient d'abattement est donné par la formule de G. VUILLAUME

$$A=1-0.001*[9*\log(r)-0.042*Pan+152]*\log(S) \text{ ou encore } A = 1 - \left[ \frac{(161-0.042*Pan)}{1000} * \log S \right]$$

r : Période de retour de la pluie (10ans)

Pan : Pluie moyenne annuelle (806.2mm)

S : Superficie du bassin versant (429.97)

On a A=0.67

**c. Le temps de base (Tb) et temps de monté Tm**

Les temps de base et de monté des eaux à l'exutoire du barrage sont également déduits des abaques de la méthode d'Auvray Rodier (cf. 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. FAO-CEMAGREF-ORSTOM-CIEH : 1996, page 45 à 52).

- Temps de base (Tb)

Le temps de base est donné par  $T_{b10}=a*S^{0.35}+b$  (cf : FAO, page 49).

En zone sahélienne, on a :

Pour un bassin versant de pente  $I_g=3$  on a  $T_{b10}=a*S^{0.35}+b$  avec  $a=250$  et  $b=300$ .

Pour un bassin versant de pente  $I_g=7$ , on a  $T_{b10}=a*S^{0.35}+b$  avec  $a=126$  et  $b=100$  (Bulletin 54 de la FAO : crues et apports, page 49).

Dans le cas présent on a donc :

Calcul du temps de base.

Tableau 14 : Détermination du temps de base  $T_{b10}$

$I_g$	S (Km <sup>2</sup> )	A	B	$T_{b10}$ (mn)	$T_{b10}$ (heures)
3	429.97	250	300	3198.51	-

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

7	429.97	126	100	1588.19	-
2.88	429.97			3246.24	54.10

On a  $T_{b10}=54.10$  heures

- Temps de montée ( $T_m$ )

En zone sahélienne, le temps de montée est estimé à partir de facteurs explicatifs caractérisant le milieu physique. (Bulletin 54 de la FAO : crues et apports, page 51)

Pour un bassin versant de pente  $I_g=3$ , on a  $T_{b10} = a * S^{0.35} + b$  avec  $a=100$  et  $b=75$ .

Pour un bassin versant de pente  $I_g=7$ , on a  $T_{b10} = a * S^{0.35} + b$  avec  $a=32$  et  $b=23$ .

Tableau 15 : Calcul du temps de montée  $T_{m10}$ .

$I_g$	S (Km <sup>2</sup> )	A	B	$T_{m10}$ (mn)	$T_{m10}$ (heures)
3	429.97	100	75	962.23	-
7	429.97	32	23	306.91	-
2.88	429.97			981.66	16.36

**d. Coefficient de pointe k**

On admet que le coefficient de pointe est voisin de 2.6 quelle que soit la superficie du bassin versant. (Bulletin 54 de la FAO : crues et apports, page 50).

Dans le cas du barrage de Dianga le coefficient de pointe k sera donc de 2,6.

**2. La crue décennale : méthode déterministe ORSTOM de AUVRAY-RODIER**

Cette méthode a été mise au point à partir d'étude menée sur plus de 250 bassins-versants dont les superficies varient de moins de 10Km<sup>2</sup> à plus de 1500 Km<sup>2</sup>.

Le débit de pointe correspondant au ruissèlement superficiel de la crue décennal est défini par la relation :

$$Q_{10} = m * A * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}}$$

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Avec :

m : Coefficient majorateur prenant en compte l'état d'humectations du sol, le débit d'écoulement retardé et estimé de  $1,00 \times 10^3$  à  $1,050 \times 10^3$ .

A=coefficient d'abattement de VILLAUME

$$A = 1 - 0.001(9\text{Log}T - 0.042\text{Pan} + 152) * \text{Log} S$$

Tableau 16: Paramètres utilisés par la formule de RODIER & AUVRAY

Symbole	Définition	Valeur	Unité
A	Coefficient de VILLAUME de la pluie en fonction du bassin versant  $A=1-0.001(9\text{Log}T-0.042\text{Pan}+152)*\text{Log} S$	0.67	-
S	Superficie du bassin versant	429.97	Km <sup>2</sup>
$\alpha_{10}$	Coefficient de pointe (rapport entre le débit de pointe décennal et le débit moyen décennal)	2.6	-
m	Coefficient majorateur	1.03	
$K_{r10}$	Coefficient de ruissèlement de la crue décennale	0.403	décimales
$P_{10}$	Pluie journalière décennale humide	87.114	mm
$T_{b10}$	Temps de base de l'hydro-gramme de crue	54.10	heures
T	Période de retour de pluie considérée	10	Ans
Pan	Pluviométrie annuelle moyenne	806.2	mm

Le tableau suivant présente les résultats du calcul.

Tableau 17: La crue décennale par la méthode déterministe de RODIER et AUVRAY.

S (m <sup>2</sup> )	Pan (m)	$P_{10}$ (m)	m	$\alpha_{10}$	$K_{r10}$	T (ans)	$T_b$ (s)	A	$Q_{10}$ (m <sup>3</sup> /s)
429.97x 10 <sup>6</sup>	806.2x 10 <sup>-3</sup>	87.114x10 <sup>-3</sup>	1.030	2.6	0.403	10	54.10	0.67	138.0

### 3. La crue décennale : la méthode de régressions linéaires du CIEH

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

La méthode proposée par PUECH et CHABI-GONNI est une méthode statistique établie à partir de 162 bassins versants de l’Afrique tropicale de superficies variables. Elle permet une assez bonne estimation de la crue décennale à partir des seuls renseignements géomorphologiques et climatiques.

Selon cette méthode, la formulation retenue pour retrouver la formule du débit décennal de pointe,  $Q_{10}$  est basée sur le schéma de régression multiple et se présente :

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

Où :  $a, s, p, i, k, d, m$  sont des coefficients d’ajustement déterminés par régressions multiples.

Nous utiliserons alors les formules de régressions linéaires suivantes, qui sont bien indiquées pour le BURKINA FASO :

**Équation N°39-Formulation pour le BURKINA FASO en fonction de  $S$  et  $K_{r10}$**

$$Q_{10} = 0.410 * S^{0.425} * K_{r10}^{0.923}$$

**Équation N°40-Formulation pour le BURKINA FASO en fonction de  $S, I_g$  et  $K_{r10}$**

$$Q_{10} = 0.254 * S^{0.462} * I_g^{0.101} * K_{r10}^{0.97}$$

Tableau 18: Paramètres utilisés par la formule de PUECH et CHABI

Symbole	Définition	Valeur	Unité
S	Superficie du bassin versant	429.97	Km <sup>2</sup>
I <sub>g</sub>	Indice global de pente	2.88	m/Km
P <sub>an</sub>	Pluie moyenne annuelle	806.2	Mm
K <sub>r10</sub>	Coefficient de ruissellement décennal	40.3	%

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Les résultats des calculs sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 19: Calcul de crue décennale par la méthode de régressions linéaires du CIEH.

Paramètres	Valeur	Q <sub>10</sub> pour les différentes équations		
		N°39	N°40	Valeur retenue (m <sup>3</sup> /s)
S (Km <sup>2</sup> )	429.97	163.5	171.6	167.6
Ig (m/Km)	1.89			
Kr10	40.3			

La valeur de la crue décennale (Q<sub>10</sub>) retenue par la méthode de régressions linéaires sera la moyenne des deux valeurs obtenues par les deux équations.

#### 4. Crue décennale Q<sub>10</sub>

Ainsi la valeur de la crue décennale (Q<sub>10</sub>) adaptée sera la valeur maximale donnée par deux méthodes et présenté dans le tableau suivant :

Tableau 20 : Crue décennale (Q<sub>10</sub>)

	Méthode déterministe	Méthode de régressions linéaires	Crue adoptée
Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	138.0	167.6	167.6

#### 5. Choix du débit de crue de projet

L'estimation des débits de pointe de la crue de période de retour supérieur à 10 ans, se fera en admettant selon la théorie du Gradex (distributions statistiques des pluies et des débits Gumbeliennes), où toute précipitation extrême au-delà de la décennale, engendre un supplément de débit égal au supplément de pluie par rapport à la pluie décennale.

Le supplément de débit se traduit par un coefficient multiplicateur C supérieur à 1.

Le coefficient majorateur, proposé par GRESILLON, HERTER, LAHAYE et basé sur la méthode du GRADEX de GUILLOT et DUBAND, après une étude critique des différents

coefficients proposés est de la forme  $C_{100} = 1 + \frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} * \frac{(\frac{T_b}{24})^{0.12}}{K_{r10}}$ , pour le calcul de crue centénale.

$$\frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} = 0,45 \text{ en zone sahélienne ou } 0,38 \text{ en zone tropicale.}$$

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Tableau 21: Paramètres utilisés pour la détermination du coefficient  $C_{100}$ .

Symbole	Définition	Valeur	Unité
$C_{100}$	Coefficient de passage de la crue décennale à la crue centennale	2	-
$P_{100}$	Pluie maximale journalière centennale humide	117.37	mm
$P_{10}$	Pluie maximale journalière décennale humide	87.114	mm
$T_b$	Temps de base de la crue décennale	54.10	Heures
$K_{r10}$	Coefficient de ruissellement décennal	0.403	décimales

Les débits de crues de projet s'obtiennent en multipliant le débit de crue décennal par la valeur  $C_T$  correspondant à une période de retour de la crue.

Ainsi, on aura :

Pour la  $Q_{100} = C_{100} * Q_{10}$

Tableau 22: résultats du calcul de la crue de projet

$P_{10}$ (mm)	$P_{100}$ (mm)	$T_b$ (heures)	$K_{r10}$	$Q_{10}$ ( $m^3/s$ )	$C_{100}$	$Q_{100}$ calculé ( $m^3/s$ )	$Q_{100}$ retenu ( $m^3/s$ )
87.114	117.37	54.10	0.403	167.6	2	326.8	327

On aura une crue de projet  $Q_p = 327 m^3/s$

Les valeurs caractéristiques de la crue de projet sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 23: Valeurs caractéristiques de la crue de projet

Symbole	Définition	Valeur	Unité
S	Superficie du bassin versant	429.97	Km <sup>2</sup>
$P_{100}$	Pluie maximale journalière centennale humide	117.37	mm
$P_{10}$	Pluie maximale journalière décennale humide	87.114	mm
$T_b$	Temps de base de crue décennale	54.10	Heures
$Q_{10}$	Crue décennale	167.6	$m^3/s$
$Q_{100}$	Crue centennale calculée	327	$m^3/s$
<b><math>Q_{100}</math></b>	<b>Crue centennale retenu</b>	<b>327</b>	<b><math>m^3/s</math></b>

### Hydrogramme de crue

A partir des temps de base et de montée, la détermination du débit de cassure est obtenue en appliquant la formule de GRISELLON, HERTER et LAHAYE.

$$Q = \frac{2 * Q_{max10}}{\alpha_{10}} * \frac{T_{b10} - \alpha_{10} * T_{m10}}{T_{b10} - 2 * T_{m10}}$$

Sa valeur est : **Q =69.72 m<sup>3</sup>/s.**

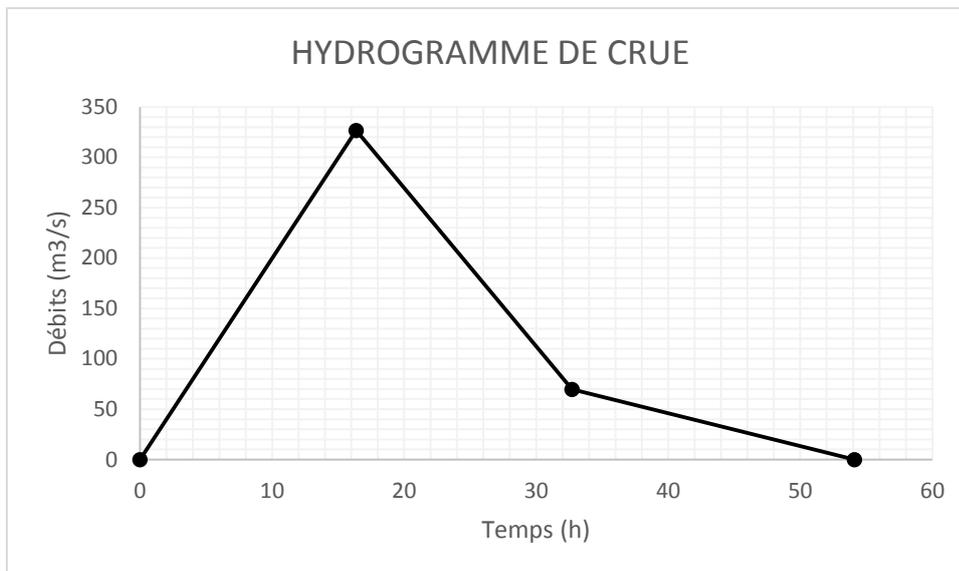


Figure 8: Hydrogramme de crue.

### 6. Étude des apports liquides sur le bassin versant

On entend par apports liquides, la quantité d'eau susceptible d'arriver à l'exutoire du barrage pendant une période considérée.

Quatre méthodes, les plus connues et les plus couramment utilisées en Afrique francophone de l'Ouest et du Centre, permettent de calculer les écoulements d'eau en l'absence de données hydrométriques sur le bassin versant. Parmi celle-ci nous retenons la méthode de Rodier pour l'estimation des apports d'eau au droit de l'exutoire du barrage.

Le manque de relevés hydrométriques rend difficile et très aléatoire l'estimation de l'écoulement annuel d'un bassin versant à un exutoire considéré. Cependant, la méthode d'évaluation de l'écoulement par la méthode de RODIER dans l'ouvrage « Évaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel tropical africain » en procédant par des approches

---

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

comparatives avec les bassins versants présentant des caractéristiques physiques et climatiques assez proches de ceux du bassin versant étudié donne généralement des résultats proches de la réalité.

L'estimation du volume sur le bassin versant se fait à partir de la formule suivante :

$$V = S * P * Ke \quad \text{Où :}$$

- S = la superficie du bassin versant
- P = la pluviométrie considérée
- Ke = le coefficient d'écoulement
- V = volume des apports de l'année considérée

Les paramètres P et S étant connus, il reste à déterminer le coefficient d'écoulement Ke.

**a. Détermination du coefficient d'écoulement Ke**

Les coefficients d'écoulement extrême pour la zone de Dianga peuvent être approchés par la méthode Rodier de l'ORSTOM.

Estimation du déficit hydrique de Coutagne ;

$$Dh = P_{moy} * 0.001 - (\lambda * (P_{moy} * 0.001)^2), \quad \text{avec } \lambda = \frac{1}{(0.8 + 0.14 * Tem)}$$

La lame d'eau écoulée (Le) est :

Le = P - Dh \* 1000 où P est la pluviométrie caractéristique.

$$Ke = \frac{Le}{P_{moy}} * 100$$

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 24: Estimation de Ke

Année	Pluie (mm)	Lamda	Le (mm)	Ke (%)
Moyenne annuelle	806.2	0.211	136.1	17
Décennale humide	952.21	0.211	190.9	20.1
Décennale sèche	659.32	0.211	91.5	13.9
Centennale humide	1071.6	0.211	241.8	22.6
Centennale sèche	539.92	0.211	61.4	11.4

**b. Détermination des apports d'eau**

Les résultats obtenus pour le barrage de Dianga sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 25: résultats des calculs des apports d'eau sur le bassin versant

ANNÉE	Ke	S (Km <sup>2</sup> )	P (mm)	Apport (m <sup>3</sup> )
Moyenne	17	429.97	806.2	58 860 885
Décennale humide	20.1	429.97	952.21	82 109 408
Décennale sèche	13.9	429.97	659.32	39 365 878
Centennale humide	22.6	429.97	1071.6	103 990 927
Centennale sèche	11.4	429.97	539.92	26 398 927

**1. Étude des apports solides sur le bassin versant**

Dans un contexte d'absence totale de mesures sur le terrain, de prévision l'ampleur du transport solide est très peu fiable. Il est généralement fait recours à des méthodes établies sous forme de formules empiriques.

a. La méthode CIEH-EIER (GRESILLON)

La relation empirique établie est :

$$D = 700 * \left(\frac{P}{500}\right)^{-2.2} * S^{-0.1}, \text{ (m}^3\text{/Km}^2\text{/an)}$$

P : la pluviométrie moyenne annuelle en mm

S : la superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>

$$D = 133.44 \text{ m}^3\text{/Km}^2\text{/an}$$

Soit un volume de charriage de 57 377 m<sup>3</sup>/an

b. Méthode de GOTTSCHALK

Cette méthode donne la dégradation spécifique par la formule suivante :

$$D = 260 * S^{-0.1} \text{ en (m}^3\text{/Km}^2\text{/an)}$$

S : la superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>

$$D = 141.78 \text{ m}^3\text{/Km}^2\text{/an}$$

Soit un volume de charriage de 60 963 m<sup>3</sup>/an

c. Méthode de KARAMBIRI

La méthode donne la dégradation spécifique par la formule suivante :

$$Ds = 137 * \left(\frac{P_{an}}{700}\right)^{-2,2} * S^{-0,05} * (0,25 + 1,13 * (h + r))^{1,15}$$

- h : **paramètre anthropique**, pris égal à 0,25 (bassin versant comportant de petits villages)
- r : **paramètre morphologique**, pris égal à 0,25 (relief peu accidenté)

$$D = 57,74 \text{ m}^3/\text{Km}^2/\text{an}$$

Soit un volume de charriage de 24 827 m<sup>3</sup>/an

En moyenne on a un volume de charriage de 47 722 m<sup>3</sup>/an

On note que tout ce volume n'arrive pas à l'exutoire de Dianga. Une partie est retenue par le barrage existant notamment Guilliéni.

*ANNEXE III: ETUDE DE LA CUVETTE*

*ANNEXE III. 1 COURBE HAUTEUR-SURFACE-VOLUME*

**d. Courbe hauteur-volume-surface**

Les levés topographiques de la cuvette a été élaboré (à l'échelle 1/3000<sup>e</sup>) avec des courbes de niveau d'une équidistance de 0.25 m et faisant ressortir les éléments caractéristiques du terrain. La superficie levée est d'environ 300 ha pour toute la cuvette. Les investigations et études d'identification ont conclu que les potentialités du site sont favorables à la mise en place d'un barrage. Les présentes études topographiques ont permis de constater que le site est très peu encaissé mais toutefois étendu.

Tableau 26: le volume et la surface du plan d'eau en fonction de la hauteur

N°	Côte(m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficie moy (m <sup>2</sup> )	Superficie (ha)	Tranche d'eau (m)	Volume partiel (m <sup>3</sup> )	Volume cumulé (m <sup>3</sup> )
1	281.29	0	0	0	0		
2	281.50	3923.33	1961.67	0.392333	0.21	411.95	411.95
3	281.75	121637.67	62780.50	12.163767	0.25	15695.13	16107.07
4	282.00	377733.08	249685.38	37.773308	0.25	62421.34	78528.42
5	282.25	559992.01	468862.55	55.999201	0.25	117215.64	195744.05

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

6	282.50	785431.79	672711.90	78.543179	0.25	168177.98	363922.03
7	282.75	917327.09	851379.44	91.732709	0.25	212844.86	576766.89
8	283.00	1227449.04	1072388.07	122.744904	0.25	268097.02	844863.91
9	283.25	1484022.60	1355735.82	148.40226	0.25	338933.96	1183797.9
10	283.50	1790034.74	1637028.67	179.003474	0.25	409257.17	1593055.0
11	283.75	2016763.12	1903398.93	201.676312	0.25	475849.73	2068904.8
12	284.00	2182554.59	2099658.86	218.255459	0.25	524914.71	2593819.5
13	284.25	2328850.16	2255702.38	232.885016	0.25	563925.59	3157745.1
14	284.50	2492451.99	2410651.08	249.245199	0.25	602662.77	3760407.8
15	285.00	2819655,65	...	281,965565	0.5	680137,13	4440544,9

Les courbes hauteur-volume et hauteur-surface sont présentés ci-après.

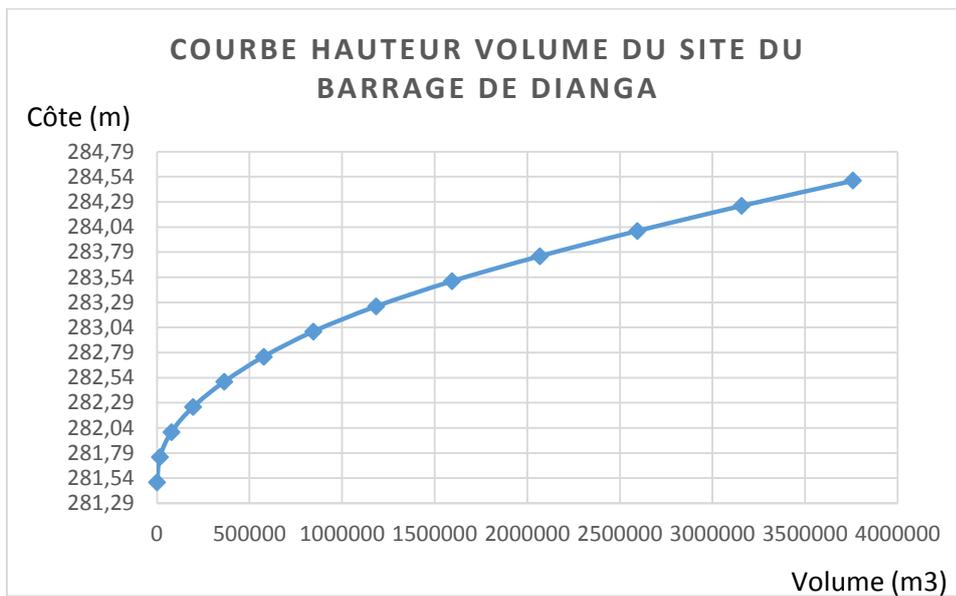


Figure 9: Courbe hauteur-volume

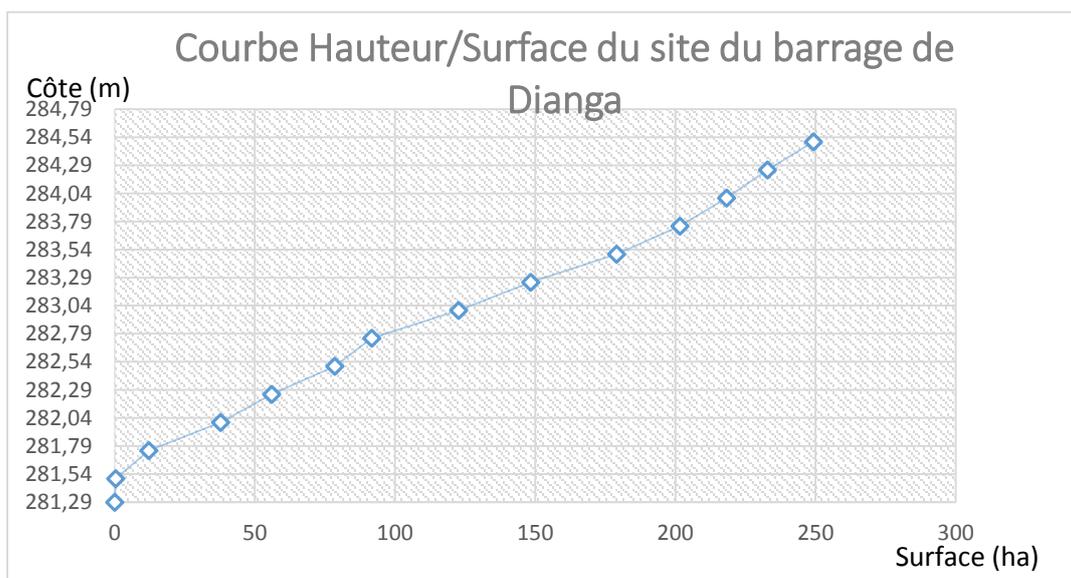


Figure 10: Courbe hauteur-surface.

*ANNEXE III. 3 ÉVALUATION DES PERTES DE LA RETENUE.*

**A. Pertes par évaporation et infiltration**

**a. Évaporation**

Les données d'évaporation considérées sont les données recueillies au niveau de la station météo. Les méthodes qui consistent à utiliser les valeurs de l'évaporation mesurées sur un BAC dit de <<Classe A>> pour estimer l'évaporation qui se produirait dans les mêmes conditions sur une nappe d'eau libre plus étendue ont fait l'objet de plusieurs études.

Ainsi, les pertes par évaporation à partir de la surface d'une retenue d'eau sont généralement considérées dans un rapport de 0.5 à 0.68 d'après POUYAUD (1985) par rapport à l'évaporation d'un BAC de <<Classe A>>. Ce même auteur présente aussi une formule pour l'estimation de l'évaporation du plan d'eau libre à partir du BAC A. La formule de POUYAUD utilisée pour l'estimation de l'évaporation du plan d'eau libre ou de la retenue (PE ou Eret) est :

$$E_{ret} = 1.664 * E_{bacA}^{0.602} \quad \text{Avec } E_{ret} \text{ et } E_{bacA} \text{ en (mm/j)}$$

Tableau 27: Évaporation dans la retenue

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
			s			n	ll						
<b>Ev. BAC A (mm)</b>	270	289	350	320	286	217	169	133	135	185	228	248	2829
<b>Ev. BAC A (mm/j)</b>	9	10	11	11	9	7	5	4	5	6	8	8	93
<b>Ev. PE (mm/j)</b>	6	7	7	7	6	5	5	4	4	5	6	6	68
<b>Ev. PE (mm)</b>	190	190	222	207	197	164	143	124	124	151	169	180	2061

### b. Pertes par infiltration

Les valeurs proposées pour l'estimation de l'infiltration dans la cuvette de la retenue d'eau varient généralement de 1mm/jour à plus de 3mm/j et depend fortement de la perméabilité du matriau de la cuvette. D'après l'étude géotechnique, le matériau de la cuvette est à predominance argilo-limoneux, nous adopterons donc une valeur de 2mm/jour pour l'infiltration. Cette valeur pourrait connaitre une baisse rapide avec la mise en eau du barrage due au dépôt des fines particules d'argile et de limons qui favorisent le colmatage de la cuvette.

Tableau 28: Perte par infiltration

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
	n		s			n	ll						
Infiltration (mm)	62	56	62	60	62	60	62	62	60	62	60	62	730

## ANNEXE III. 4 ESTIMATION DES BESOINS

### *Estimation des besoins en eau et pertes*

#### **Hypothèses de calcul**

Les résultats obtenus concernant la consommation humaine, animale et les valeurs des différentes pertes par évaporation, infiltration et dépôt solide vont nous permettre de simuler la courbe d'utilisation de la retenue d'eau. Ainsi, convient-il donc de déterminer les besoins en eau des cultures du périmètre à irriguer enfin d'effectuer le calage de la digue à la cote de projet adéquate.

Nous avons déterminé les besoins totaux de chacune des cultures que sont le riz, la tomate et l'oignon. Nous avons ensuite considéré le cas le plus défavorable (oignon).

#### **❖ Estimation des besoins agricoles**

Les cultures concernées sont :

- La riziculture pluviale sur 5 ha.
- Le maraichage en saison sèche (oignon) sur 5 ha.

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Les paramètres permettant d'estimer les besoins des cultures sont donnés par les équations , 18, 19 , 20 et 21 suivantes :

<p>- <b>si <math>P \geq 20 \text{ mm}</math></b>      <i>Alors</i></p> <p><b><math>Pe \text{ (mm)} = P - (0.15 * (P - 20))</math></b>    (18)</p> <p>- <b><math>Pe \text{ (mm)} = P</math> si <math>P &lt; 20 \text{ mm}</math></b> (19)</p> <p>- <b><math>Bn = Kc * ET0 - Pe</math></b>                    (20)</p> <p>- <b><math>Bb = \frac{Bn}{e}</math></b>                                    (21)</p>	<p>P = pluviométrie moyenne mensuelles (mm)</p> <p>Pe=Pluie efficace (mm).</p> <p>Kc=Coefficient cultural de la plante</p> <p>ET0= Évapotranspiration de référence (mm)</p> <p>e= Efficience du système d'irrigation</p> <p>Bn= Besoins nets (mm)</p> <p>Bb= Besoins bruts (mm)</p>
---	---

❖ **Estimation des besoins pastoraux**

Les besoins en eau pastoraux ont été estimés à partir du nombre de bétail à desservir et de la consommation qui est de 40 litres/jour/UBT pour le gros bétail et 5 litres/jour/UBT pour le petit bétail. La population d'UBT a été actualisée à l'aide de l'équation 22 suivante avec des taux d'accroissement qui sont respectivement de 2% et 3% (**Statistiques du Secteur de l'élevage au Burkina Faso Animales, 2008**) :

<p><b><math>Pn = P0 (1 + Tx)^n</math></b>    (22)</p>	<p>Pn = population à l'échéance du projet</p> <p>Po = population initiale</p> <p>n = nombre d'année</p> <p>Tx = taux d'accroissement</p>
---	--

❖ **Besoins domestiques**

Pour les besoins domestiques d'après les enquêtes faites sur le terrain, nous décidons d'allouer 20 litres/jour/habitant.

Tableau : besoins en eau agricole.

Désignation	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Superficie (ha)
durée (j)	15	30	31	31	28	30,00	5

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Kc équivalent	0,5	0,8	1,05	1,05	0,871	0,85	5
ET0 (mm/j)	4,84	5,19	5,39	6,13	6,79	7,23	5
ETM (mm/j)	2,42	4,15	5,66	6,44	5,91	6,15	5
ETM (mm)	36,30	124,56	175,44	199,53	165,59	184,37	5
P (mm)	32,00	1,00	1,00	0,00	0,00	9,00	5
Pe (mm)	30,40	1,00	1,00	0,00	0,00	8,90	5
ETM-Pe (mm)	5,90	123,56	174,44	199,53	165,59	175,47	5
Besoin net (m3/ha)	59	1235,6	1744,44	1995,3	1655,9	1 754,65	5
Besoin en eau	295	6178	8722,22	9976,5	8279,7	8 773,25	5
besoin totaux	42 224,78						
deux fois /saison	84 449,55						
pastoral (m3)	143 249,19						
pastoral +agricol	227 698,74						

*ANNEXE III. 5 LA DIGUE*

**1. Calage de la digue**

La crête de la digue correspondant à sa hauteur Hd, est déterminée en fonction de :

- La cote du plan d'eau normale (Côte PEN) qui correspond à la hauteur effective de la retenue d'eau ;
- La hauteur d'eau (h) au-dessus du seuil lors du déversement de la crue de projet ;
- La revanche (R) sur les plus hautes eaux.

La revanche sur les plus hautes eaux permet :

- d'éviter la submersion de la digue par les vagues engendrées par les vents lors des crues ;
- d'absorber l'excédent de débits sur la crue de projet et de faire passer la crue de sécurité ;

---

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

- Et de compenser les tassements de la digue et des fondations pour éviter de réduire la réserve de Sécurité.

Tableau : paramètre de la digue.

Côte PEN (m)	H (m)	Revanche (m)	Côte digue (m)	Côte parapet (m)	Côte TN (m)	Hauteur max (m)
283,75	0,77	1,4	286	286,5	281,5	4,5

## **2. Largeur en crête de la digue.**

Cette largeur doit être suffisante pour permettre la circulation des engins lors des travaux de finitions et aussi pour l'entretien de l'ouvrage dans un avenir futur.

Les formules suivantes permettent de calculer la largeur en crête ( $l_c$ ) de la digue :

formule 1 (Knappen)	$l_c = 1,65 * \sqrt{H_d} = 1,65 * \sqrt{4,5}$
---------------------	---

Avec  $H_d$  : hauteur maximale de la digue (m)

Les calcul donne le résultat suivant :

Hauteur max digue (m)	4,5
Largeur crête (m)	3,5001

Au regard de ces résultats, nous retenons **3,5 m** comme largeur en crête de la digue.

## **3. Longueur de la digue**

Le calage du remblai de la digue à la cote 303 m a conduit à une longueur de la digue de 583 m sans la longueur du déversoir.

## **4. Largeur de la fondation de la Digue**

La digue étant de forme trapézoïdale la largeur en base sera :

Formule	Valeur
$L_b = L_c + (m_{amont} + m_{aval}) * H_D$	<b>21,5 m</b>

Avec

- $L_c$ =largeur en crête de la digue : 3,5 m
- $m_{amont}$  (Fruit de berge amont)=(Fruit de berge aval) =2m
- $H_D$ =hauteur de la digue : 4,5 m

**Infiltration à travers la digue**

La méthode utilisée généralement pour les petits barrages est celle de KOZENY. Elle donne des résultats approchés.

Elle a pour équation :

$$Y^2 - 2xY_0 - Y_0^2 = 0 \text{ Avec}$$

$$Y_0 = \sqrt{(h^2 + d^2)} - d$$

Le débit de fuite est :

$$q = k_r * Y_0 * S$$

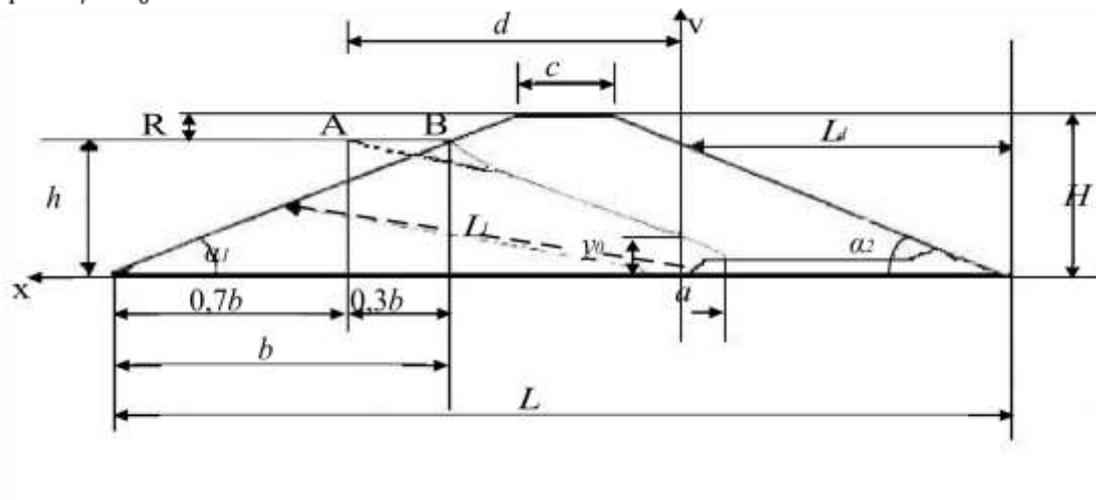


Figure 14: Courbe de KOZENY

Tableau 39: Détermination du débit de fuite

Désignation	Formules	Valeurs
h :tirant d'eau à l'amont (m)		2,25
b :projection horizontale de la partie		

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

mouillée du parement amont (m)	$b = h * m_{amont}$	4,5
d :largeur en base du barrage diminuée de 0.7 b et de la longueur du drain (m)	$d = L_b - 0,7 * b - l_d$	11,9
$l_d$ :longueur du drain (m)	$l_d = \frac{1}{3} * L_b$	7,2
$Y_0$ : Point d'intersection de l'axe des ordonnées et de la parabole de Kozeny	$Y_0 = \sqrt{(h^2 + d^2)} - d$	0,4
$L_b$ :largeur en base de la digue (m)		21,5
q calcul du débit de fuite (m <sup>3</sup> /s)	$q = Kr * Y_0$	3,11E-9

*ANNEXE III. 6 : OUVRAGE ANNEXES*

**1. Calcul de l'épaisseur du drain**

Paramètres	Formules	Valeurs
e : épaisseur du drain (m)	$e = 2 * \sqrt{\left(\frac{q * l_d}{k_d}\right)}$	0,03
Kd (perméabilité du drain en m/s)		1,00E-04
La valeur minimale recommandée est de 0,5 m (Techniques des petits barrages page 193)		0,50

**2. Le tapis étanche**

Au regard des résultats des investigations géotechniques le long de l'axe présumé du barrage, il est jugé nécessaire de prévoir un tapis étanche au fond de la cuvette, dans la zone de haute charge, notamment au droit du déversoir principal. Les caractéristiques de ce tapis sont les suivantes :

Matériau	Argile compactée (même matériau que celui du corps de la digue du barrage)
Longueur	120 m
Épaisseur	50 cm

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

**3. Les ouvrages de prise**

**Tableau 40: Dimensionnement des ouvrages de prise**

Désignation	Unité	Valeurs
<b>Détermination de la longueur (L) de la conduite</b>		
Largeur en crête de la digue : Lc	m	3,5
Fruit du talus amont	H/V	2
Fruit du talus aval	H/V	2
Cote du terrain naturel : Z <sub>TN</sub>	m	281,5
Cote crête de la digue : Z <sub>crête</sub>	m	286
Côte au plan d'eau normale : Z <sub>PEN</sub>	m	283,75
Largeur en base de la digue : Lb = Lc+(m1+m2)*(ZcrêteZTN)	m	21,5
Longueur des bassins amont et aval : d	m	20
Longueur de la conduite : L =Lb+d	m	41,5
<b>Détermination du diamètre de la conduite : D</b>		
Il doit permettre de satisfaire les besoins et ne pas générer de fortes pertes de charges.		
Débit spécifique du mois de pointe : Qs	l/s/ha	3,08
Surface totale irriguée par saison: S	ha	5
Débit de pointe délivré par la conduite : Q = C*S*(2gH) <sup>0,5</sup>	m <sup>3</sup> /s	0,031
	l/s	31
Cote PEN	m	282,25
Coefficient de contraction		0,6
Charge de l'eau sur la conduite : H	m	1,5
Vitesse maximale : Vmax =	m/s	3,9
Diamètre de la conduite : D	m	0,1
Débit maximum : Qmax	l/s	31
<b>Détermination du temps de vidange</b>		
Côte au PEN	m	283,75
Surface au PEN	m <sup>2</sup>	2 016 763,12
Cote de l'ouvrage de Vidange	m	281,5
Conduite	m <sup>2</sup>	0,785
Pesanteur	m/s <sup>2</sup>	9,81
Charge d'eau	m	2,25
Supposons une vidange totale du barrage		
Temps de Vidange $T = \left(\frac{S}{s}\right)^2 * \sqrt{\frac{2}{g}} * (\sqrt{h_0} - \sqrt{h})$	s	700 000
Temps de Vidange	jr	8,1
Nous considérons un temps de vidange de 8 jrs		

ANNEXE IV: DIMENSIONNEMENT DES DÉVERSOIRS.

*ANNEXEIV. 1:DEVERSOIR CREAGER*

Dans le cadre de cette étude, nous utiliserons la méthode (EIER/CIEH).

Les caractéristiques d'un déversoir sont :

Le débit de la crue à évacuer ( Qe)

La longueur (L)

La charge sur le seuil (H)

La revanche (R)

La procédure commence par le calcul de la longueur du déversoir sans tenir compte de l'effet de laminage.

$L1 = \frac{Q_{100}}{m \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}$	<p>Q100=débit projet m=coefficient du profil Creager (0,77) h=charge sur le seuil</p> <p>g=intensité de l'apesanteur (9,81m/s<sup>2</sup>)</p>
---	--

$$L1 = \frac{327}{0,49 \cdot 0,77 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,77}} = 238,16$$

Deuxième étape Calcul de x0 :

$x0 = \frac{T \cdot m^3 \cdot L^2 \cdot m^2 \cdot g \cdot Q_{100}}{s^3}$	<p>S(m<sup>2</sup>)=superficie du plan d'eau</p> <p>L(m)=longueur du déversoir Q100 (m<sup>3</sup>/s)=débit projet m=coefficient du profil Creager (0,49) h(m)=charge sur le seuil</p> <p>g=intensité de l'apesanteur (9,81m/s<sup>2</sup>) Tm (heure)=temps de montée des eaux</p>
--	---

$$X0 = \frac{58899^3 \cdot 238,16^2 \cdot 0,49^2 \cdot 9,81 \cdot 327}{2 \cdot 016 \cdot 763,12^3} = 4576,291098$$

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Calcul de LOG (x0) =3,66

Lecture de  $\beta=0,96$  sur l'abaque

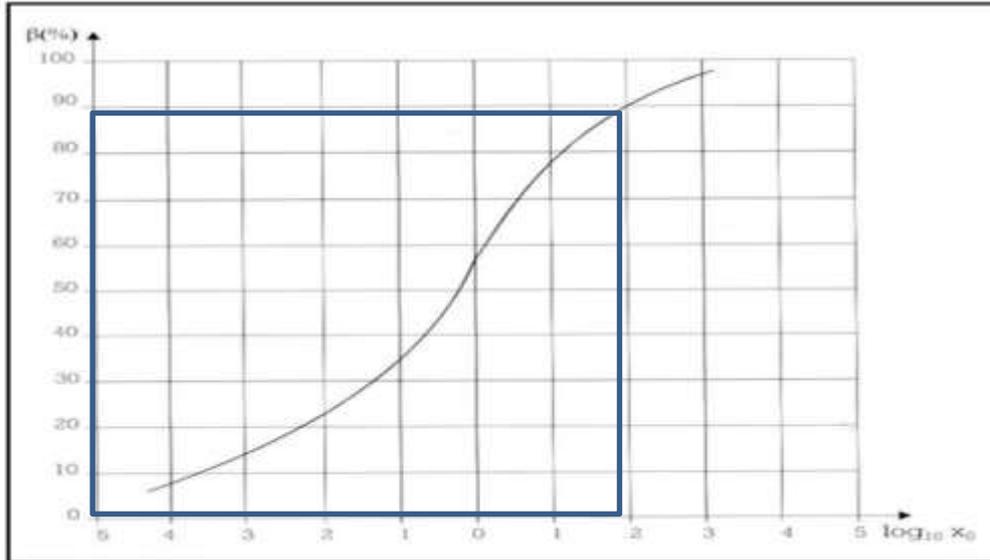


Figure 1. . : Abaque du coefficient de laminage

**La longueur du déversoir est : L déversoir = L1\*  $\beta$  =223 m**

Remarque : cette valeur de L n'est pas rigoureusement exacte et il est possible de l'approcher finement en répétant le calcul. Pour les petits barrages, la valeur trouvée ainsi suffit (**La maîtrise des crues dans les bas-fonds, petits et micro barrages en Afrique de l'ouest, p107**).

NB : Nous retiendrons pour la suite des calculs : L déversoir = 223m.

Calcul de la charge sur le déversoir (h)

La nouvelle charge est calculée avec la longueur définitive du déversoir.

$$QeM=m*L*h*\sqrt{2 * g * h}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{Qe*m^2}{2*m^2*L^2*g}} = \sqrt[3]{\frac{327*0,49^2}{2*0,49^2*223^2*9,81}} = 0,77$$

$$h=0,77m$$

Étude des débits à évacuer

Les critères de calcul des déversoirs sont basés sur deux crues:

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

- La traditionnelle « Crue de projet » qui correspond en général à une probabilité, pour laquelle le niveau de la retenue est maintenu sensiblement en dessous de la crête du barrage (revanche).
- La «Crue de sécurité», ayant une bien plus faible probabilité ou considérée comme la crue maximum probable (C.M.P.) pour laquelle le niveau de la retenue est proche de la crête du barrage et quelques dégâts sont acceptables, pour autant que la sécurité du barrage reste assurée (pas de rupture).

Calcul du débit maximum laminé (QeM)

Dans le cas de retenue d'eau de petite superficie, on néglige l'effet de laminage de la retenue et on considère que le débit sortant de la retenue par le déversoir (QeM) est égal au débit entrant dans la retenue(QcM).(La maîtrise des crues dans les bas-fonds,p105) Alors  $QeM=QcM= 327m^3/s$ .

Simulation du débit spécifique

Le débit spécifique du déversoir Creager est :=  $2,2 \cdot h^{1,5}$

h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$q_s$	0,33	0,66	0,99	1,32	1,65	1,98	2,31	2,64	2,97	3,3

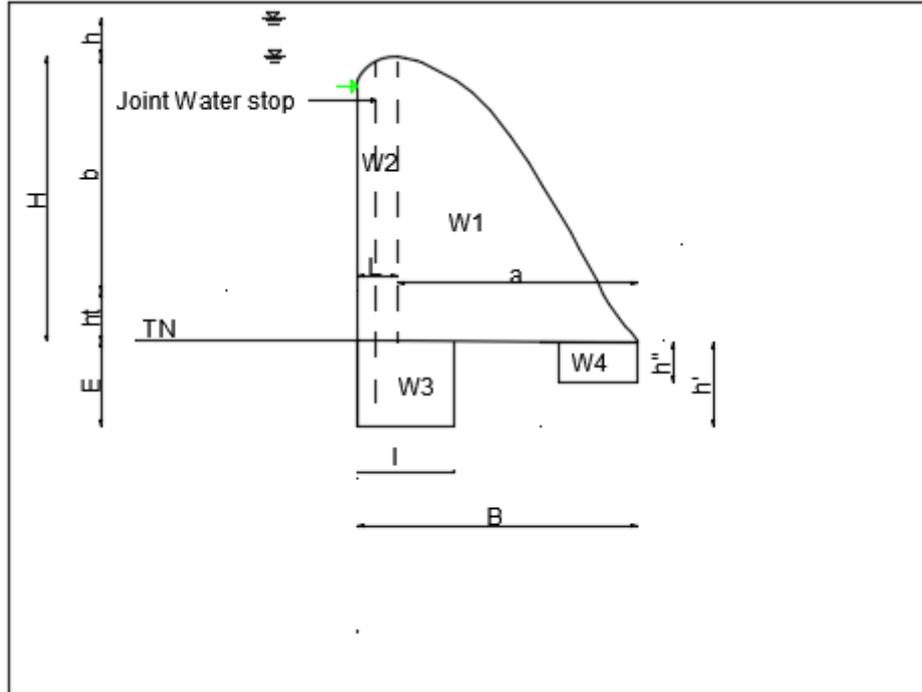
Calcul et dessin de la forme du Creager

Le Creager est calculé pour une charge « h » sur la crête du déversoir.

La forme du profil suis l'allure de la courbe de fonction :  $Y=0,5 \cdot \frac{x^{1,85}}{h^{0,85}}$  avec  $h=0,77m$

Allure du profil Creager										Paramètres géométrique	
										Xg	1.4
										yg	3.1
X	0 0	0,25	0,5	1	2,25	4	8	16		BLx	1.9
Y	0,0	0,05	0,17	0,62	2,80	8,11	29,23	105,38		Bly	4.2
										surfac	
										e	18.5

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**



FigureIV.1.2 : Géométrie du Creager

**ETUDE DE LA STABILITE DU DEVERSOIR CREAGER**

Bilan des forces

NB : Géométrie d'un quart d'ellipsoïde est :

	Surface(S)	$\frac{\pi * a * b}{4}$
	Centre de gravité(Xg)	$\frac{4a}{3\pi}$
	Centre de gravité(Yg)	$\frac{4b}{3\pi}$
	Bras de levier(BLx)	$a - \frac{4a}{3\pi}$

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Tableau : Paramètres de calcul de la stabilité du creager

	FORCES	BRAS DE LEVIERS	MOMENTS
Poids de l'ouvrage (W)	$W1 = \frac{1}{4} \gamma_b * H * a * \pi$	$X_{W1} = a - \frac{4 * a}{3 * \pi}$	$M_{W1} = \frac{1}{4} \gamma_b * H * a * \pi * (a - \frac{4 * a}{3 * \pi})$
	$W2 = \gamma_b * H * L$	$X_{W2} = a + \frac{L}{2}$	$M_{W2} = \gamma_b * H * L * (a + \frac{L}{2})$
	$W3 = \gamma_b * E * l$	$X_{W3} = B - \frac{l}{2}$	$M_{W3} = \gamma_b * E * l * (B - \frac{l}{2})$
	$W4 = \gamma_b * (B - l) * h''$	$W_4 = \frac{B - l}{2}$	$M_{W4} = \gamma_b * (B - l) * h'' * \frac{B - l}{2}$
Poussée hydrostatique (P)	$P1 = \gamma_w * h * H$	$Y_{P1} = \frac{H}{2}$	$M_{P1} = \frac{\gamma_w}{2} * h * H^2$
	$P2 = \frac{\gamma_w * H^2}{2}$	$Y_{P2} = \frac{H}{3}$	$M_{P2} = \frac{\gamma_w * H^3}{6}$
	$P = P1 + P2$	----- -----	$MP = MP1 + MP2$
Sous pression avec fouille (U)	$U = \left( \frac{\gamma_w * H^2 * \tan^2(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2})}{2} + \gamma_w * h' \right) * B$	$X_u = B - \frac{B}{3} * \frac{(2 * (H+h) - 7 * h')}{(2 * (H+h) - 4 * h')}$	$M_u = U * X_u$
Poussée des sédiments (Pt)	$Pt = \frac{1}{2} \gamma_t * \gamma_t^2 * \tan^2(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2})$	$Xt = ht/3$	$Mt = Pt * Xt$

TableauIV.1.2 : Résultats du calcul des paramètres de stabilité du Creager

STABILITE AU RENVERSEMENT					
DESIGNATION	FORCES (KN)		BRAS DE LEVIER/B (m)	MOMENTS (KN.m)	
	VERTICALES	HORIZONTALES		Stabilité	renversement
W1	123,56		1,30	160,02	
W2	14,19		2,92	41,47	
W3	16,00		2,79	44,62	
W4	37,50		0,50	18,75	
W	191,24			264,86	
P1		17,34	1,13		19,51
P2		25,31	0,75		18,98
P		42,65			38,49
Upara	22,64				
U	48,05		2,53		121,58
poussée des sediments		18,38	0,20		3,68
TOTAL	239,30	61,03		264,86	163,75

- **STABILITÉ AU GLISSEMENT**

Vérification de la stabilité au glissement :

Tan ( $\phi$ Béton-roche tendre)=0,65 pour les argiles, marnes...

$$\frac{(191,24-48,05)*0,65}{(42,65+18,38)} = 1,52 \geq 1,5$$

Conclusion : la stabilité au glissement est vérifiée.

- **STABILITÉ AU RENVERSEMENT**

$$M_{\text{Résultant}} = \sum M_{\text{Stabilisants}} - \sum M_{\text{renversement}} = 264,86 - 163,75 = 101,10$$

$$R = \sqrt{\sum F_{\text{Verticale}}^2 + F_{\text{Horizontale}}^2} = \sqrt{239,30^2 + 61,03^2} = 246,96$$

$$e = \frac{M_{\text{Résultant}}}{\sum F_{\text{Verticale}}} = \frac{101,10}{239,30} = 0,42 \text{ et } B/6 = 0,54$$

Conclusion :  $\frac{-B}{6} < e < \frac{B}{6}$ , la stabilité au renversement est vérifiée.

- **STABILITÉ INTERNE**

Vérification de la stabilité interne de l'ouvrage:

$$\begin{aligned} \sigma_{\min} = \sigma_A &= \sigma \left( y = \frac{-B}{2} \right) = \left( \frac{W - U}{B} \right) * \left( 1 - \frac{6 * e}{B} \right) \\ &= \frac{191,24 - 48,05}{3,25} * \left( 1 - \frac{6 * 0,42}{3,25} \right) * 10^{-3} = 0,009 \text{ MPA} \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} = \sigma_B &= \sigma \left( y = \frac{-B}{2} \right) = \left( \frac{W - U}{B} \right) * \left( 1 + \frac{6 * e}{B} \right) \\ &= \frac{191,24 - 48,05}{3,25} * \left( 1 + \frac{6 * 0,42}{3,25} \right) * 10^{-3} \end{aligned}$$

$$= 0,08 \text{ MPA} \leq 21 \text{ MPA}$$

Conclusion : la stabilité interne est vérifiée.

- **STABILITÉ AU POINÇONNEMENT**

On vérifie que sous le massif la contrainte de référence est toujours inférieure à la pression admissible du sol :

$$\sigma_{\text{ref}} = \frac{\sum F_{\text{Verticale}}}{a} \left( 1 + \frac{6 * e}{a} \right) \text{ car } 0 < e < \frac{a}{6}; \sigma_{\text{ref}} = 108,1 \text{ KN/ml}$$

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

Données							
$\varphi(0)$	$N\gamma$	$Nq$	$Nc$	$\gamma$	B(m)	E(m)	C
32	24,9	23,2	35,5	18,7	3,25	1,2	26,5
qadm (KN/ml)	2030						

$\sigma_{ref} < q_{adm}$

Conclusion : la stabilité au poinçonnement est vérifiée.

Équation 1 ANNEXE IV : Radier submersible

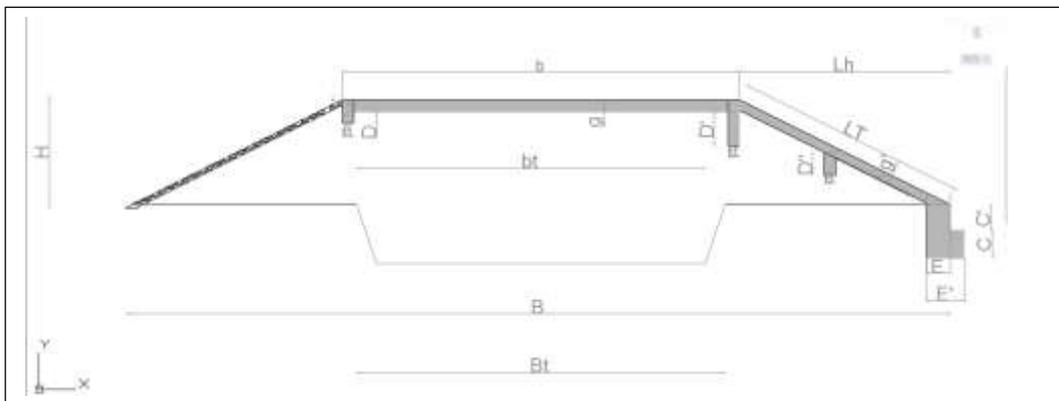


Figure : Géométrie du radier

	FORCES	BRAS LEVIERS	DE MOMENTS
Poids de l'ouvrage (W)	$W1 = \frac{1}{2}\gamma_c * (B+b)*H$ (poids du remblai)		
	$W2 = \gamma_b * g * b$ (poids dalle en crête)	$X_{W2} = Lh + \frac{b}{2}$	$M_{W2} = \gamma_b * g * b * (Lh + \frac{b}{2})$
	$W3 = \gamma_b * g' * LT$ (poids dalle talus aval)	$X_{W3} = \frac{Lh}{2}$	$M_{W3} = \gamma_b * g' * LT * (\frac{Lh}{2})$
	$W4 = \gamma_b * (C * E' + E * C')$ Parafouille	$X_{W4} = \frac{E'}{2}$	$M_{W4} = \gamma_b * (C * E' + E * C') * \frac{E'}{2}$

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

	W5=yb*e*D Pieds D1(1)	$X_{W5} = Lh + b - \frac{e}{2}$	$M_{W5} = yb * e * D * (Lh + b - \frac{e}{2})$
	W6=yb*e*D' Pieds D1(2)	$X_{W6} = \frac{E'}{2}$	$M_{W6} = yb * e * D'$
	(Pieds D2) W7=yb*e*D''	$X_{W7} = \frac{Lh}{2}$	$M_{W7} = yb * e * D'' * \frac{Lh}{2}$
Charge routière	Action des charges militaire Mc120 (Qcr)	$X_{cr} = Lh + \frac{b}{2}$	$M_{Qcr} = Q_{cr} * (Lh + \frac{b}{2})$
Poussée hydrostatique (P)	$P_1 = \gamma_w * h * H$	$Y_{P1} = \frac{H}{2}$	$M_{P1} = \frac{\gamma_w * h * H^2}{2}$
	$P_2 = \frac{\gamma_w * H^2}{2}$	$Y_{P2} = \frac{H}{3}$	$M_{P2} = \frac{\gamma_w * H^3}{6}$
	$P = P_1 + P_2$		$M_P = M_{P1} + M_{P2}$
Sous pression avec para fouille (U)	$U_{parafouille} = \gamma_w * \left( \frac{H^2}{3} (H + h) + \frac{1}{3} h^3 \right)$	$X_u = B - \frac{B}{3} * \frac{(2 * (H+h) - 7 * h)}{(2 * (H+h) - 4 * h)}$	$M_u = U * X_u$
	$U = \left( \frac{\gamma_w * (H^2 * h + H * h^2)}{2} \right) * B$		
Poussée des sédiments (Pt)	$P_t = \frac{1}{2} \gamma_t * \gamma_t' * \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$	$X_t = ht/3$	$M_t = P_t * X_t$

Tableau : Résultats

DÉSIGNATION	FORCES (KN)		BRAS DE LEVIER/ B(m)	MOMENTS (KN.m)	
	VERTICALES	HORIZONTALES		Stabilité	Renversement
Poids du remblai	389,03		00	00	
poids des dalles en crête	28,75		6,80	195,50	
poids dalle talus aval	25,16		2,25	56,60	
charge routière	98,10		0,00	0,00	
Parafouille	17,50		0,40	7,00	
Pieds D1(2)	4,69		4,50	21,09	
Pieds D1(1)	3,13		9,10	28,44	
Pieds D2	3,13		2,25	7,03	
$\Sigma$ poids W	92,00				
P1		17,34	1,13		19,51
P2		25,31	0,75		18,98

- **Stabilité Au Renversement**

$$MR_{\text{Résultants}} = \sum M_{\text{Stabilisants}} - \sum M_{\text{Renversants}} = 315,66 - 61,39 = 254,27$$

$$R = \sqrt{\sum F_{\text{Verticale}}^2 + F_{\text{Horizontale}}^2} = \sqrt{82,34^2 + 61,03^2} = 102,5$$

$$e = \frac{M_{\text{Resultant}}}{\sum F_{\text{Verticale}}} = \frac{254,27}{140,06} = 1,82 \text{ et } B/6 = 2,26 ;$$

- **Stabilité Interne**

Vérification de la stabilité interne de l'ouvrage:

$$\begin{aligned} \sigma_{\min} = \sigma_A = \sigma \left( y = \frac{-B}{2} \right) &= \left( \frac{W - U}{B} \right) * \left( 1 - \frac{6 * e}{B} \right) \\ &= \frac{92,00 - 48,05}{13,6} * \left( 1 - \frac{6 * 1,82}{13,6} \right) * 10^{-3} = 0,001 \text{MPa} \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} = \sigma_B = \sigma \left( y = \frac{-B}{2} \right) &= \left( \frac{W - U}{B} \right) * \left( 1 + \frac{6 * e}{B} \right) \\ &= \frac{92,00 - 48,05}{13,6} * \left( 1 + \frac{6 * 1,82}{13,6} \right) * 10^{-3} \end{aligned}$$

$$= 0,01 \text{MPa} \leq 21 \text{MPa}$$

Conclusion : la stabilité interne est vérifiée.

- **Stabilité au soulèvement**

Le principe simple utilisé est d'assurer la stabilité au soulèvement de la dalle

$$P_s \leq N$$

$$\text{Avec } N = P_n + P_{dn}$$

où N : effort normal à la dalle

P<sub>n</sub> : composante normale du poids de l'eau

P<sub>dn</sub> : composante normale du poids de la dalle

P<sub>s</sub>: Sous -pression dynamique de l'eau sous la dalle du coursier

Y<sub>w</sub>: poids volumique de l'eau (KN/m<sup>3</sup>) 10

Y<sub>b</sub> : poids volumique du Béton armé (KN/m<sup>3</sup>) 25

V: vitesse maximale de l'eau sur le coursier (m/s) 8,12



## CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

### 2. RÉFÉRENCES ET RÈGLEMENTS DE CALCUL

Les références et règlements utilisés sont :

- Les Termes de Référence du marché des études ;
- Fascicule 2 du CCTG relatif aux Terrassements généraux ;
- Fascicule 61 titre II du CCTG relatif à la conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art-Programme de charges et épreuves des ponts routes ;
- Fascicule 62 titre I section 1 (règles BAEL) relatif aux règles techniques de conception et de calcul des ouvrages de construction en béton armé suivant la méthode des états limites. BAEL 91 révisé 99 ;
- Fascicule 62 titre V relatif aux règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil ;
- Fascicule 68 relatif à l'exécution des travaux de fondation des ouvrages de génie civil ;
- Fascicule 70 titre II relatif aux ouvrages de recueil, de restitution et de stockage des eaux pluviales ;
- NF P11-213, DTU 13-3 : Dallage – conception, calcul et exécution.

#### a. Caractéristiques du béton :

- Type de béton : B25 pour dalots et radiers.
- Résistance à la compression :  $F_{c28} = 25 \text{ MPa}$  et  $30 \text{ MPa}$ ;
- Résistance à la traction :  $F_{t28} = 0.6 + 0.06 \times F_{c28} = 2.1$
- Module de déformation instantanée :  $E_{i28} = 11\,000 (F_{c28})^{1/3} = 32\,164$
- Module de déformation différée :  $E_{v28} = E_{i28} / 3 = 10\,721 \text{ Mpa}$
- Masse volumique du béton armé:  $2500 \text{ kg} / \text{m}^3$
- Coefficient de Poisson pour le béton non fissuré :  $\nu = 0.2$
- Coefficient de Poisson pour le béton fissuré :  $\nu = 0.0$
- Coefficient de dilatation thermique :  $\alpha = 1 \text{ E-5} / ^\circ\text{C}$
- $\lambda_b$  pour les combinaisons fondamentales : 1.5
- $\lambda_b$  pour les combinaisons accidentelles : 1.15
- Variation de  $\theta$  suivant la durée d'application : 0.85 à 1

b. Caractéristiques des aciers doux feE 240:

- Nuances :  $f_e = 235 \text{ MPa}$
- Module de Young :  $E = 200\,000 \text{ MPa}$
- Masse volumique :  $\lambda_d = 7\,850 \text{ kg/m}^3$
- Coefficient de fissuration :  $\eta = 1.0$
- Coefficient de scellement :  $\Psi_s = 1.0$

c. Caractéristiques des aciers à haute adhérence feE 400

- Nuances :  $f_e = 400 \text{ MPa}$
- Module de Young :  $E = 200\,000 \text{ MPa}$
- Masse volumique :  $\lambda_d = 7\,850 \text{ kg/m}^3$
- Coefficient de fissuration :  $\eta = 1.6$
- Coefficient de scellement :  $\Psi_s = 1.5$
- $\lambda_a$  pour les combinaisons fondamentales : 1.15
- $\lambda_a$  pour les combinaisons accidentelles : 1.0

La fissuration est jugée préjudiciable et l'enrobage varie de 2.5 à 3 cm.

Caractéristiques des sols de fondations et des remblais:

- Masse volumique du remblai  $\lambda = 1900 \text{ kg/m}^3$  ;
- Coefficient de MARSTON (coefficient correctif appliqué au poids des terres) = 1.07
- Coefficient de poussée des terres  $\Psi = 0.35$  ;
- La résistance admissible du sol est  $\sigma_{\text{sol}} = 0.2 \text{ MPa}$  ;
- Module d'élasticité différé du sol est  $E_{\text{sol}} = 50 \text{ MPa}$  (argile limoneuse normalement consolidée) ;

### 3. CHARGEMENTS

Les charges considérées sont :

- les charges permanentes constituées par les poids propres des structures et des équipements, les poids des remblais, les poussées des terres ;

---

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

- les charges variables constituées par l'action de l'eau (poids, poussée hydrostatique, sous-pression, les charges sur remblai contigu), les charges routières et les charges d'exploitation ;
- les charges routières A et B seront considérées de même que la charge militaire Mc120.

Les charges routières A et B et militaires Mc120 se définissent comme suit :

**a. Système de charge  $A_1$**

Ce système se compose des charges uniformément réparties d'intensité variable suivant la longueur surchargée et qui correspond à une ou plusieurs files de véhicules à l'arrêt sur la structure. Elles représentent un embouteillage ou un stationnement ou également une circulation continue à une vitesse à peu près uniforme d'un flot de véhicules composé des voitures légères et de poids lourds. Ainsi le système de charge  $A_1$  est représenté par une charge uniformément répartie sur la chaussée des ponts dont la valeur  $A_1$  est donnée par la formule :

$$A_L = 2.3 + \frac{360}{L + 12} \text{ en } KN / m^2$$

Avec :

L : largeur des zones chargées en m.

La largeur des zones chargées est prise de façon à produire d'effet le plus défavorable en considérant le principe des lignes d'influence alors que les limites des zones à charger coïncident avec les zéros de la ligne d'influence. Cette valeur de la charge est multipliée par des coefficients de correction  $a_1$  et  $a_2$ .

$a_1$  : coefficient dépendant du nombre des voies chargées ainsi que la classe de la structure.

$a_2$  : coefficient dépendant de la classe de la structure ainsi que de la longueur d'une voie.

$$A_2 = A_L \times a_1 \times a_2$$

**b. Système de charge B**

Les charges de ce type sont composées de plusieurs systèmes distincts.

- Le système  $B_c$  se compose d'un ou maximum de 2 camions types par file.
- Le système  $B_t$  est un tandem composé de 2 essieux munis de roues simple pneumatique.

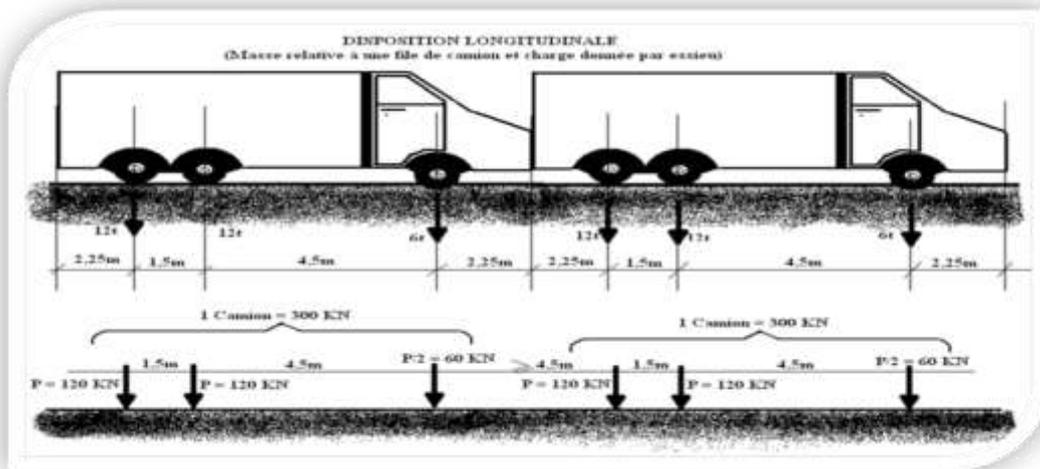
---

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

- Le système  $B_r$  est une roue isolée disposée normalement à l'axe longitudinal de la chaussée.
  - système de charge  $B_c$

Le nombre et la disposition des convois sont choisis de manière à produire l'effet le plus défavorable. Dans le sens longitudinal le règlement impose que le nombre des camions doit être limité à 2 par file, orientés dans le même sens. En outre et transversalement, le nombre de files de camions ne doit pas dépasser le nombre des voies c'est à dire  $N_f \leq N_v$ . De plus, une distance minimale de 0.25 m est exigée entre l'axe de la file de roue la plus excentrée et le bord de la largeur chargeable.

Les valeurs des charges du système  $B_c$  à prendre en compte sont multipliées par deux coefficients de pondération  $b_c$  et le coefficient de majoration dynamique  $\delta_D$ .



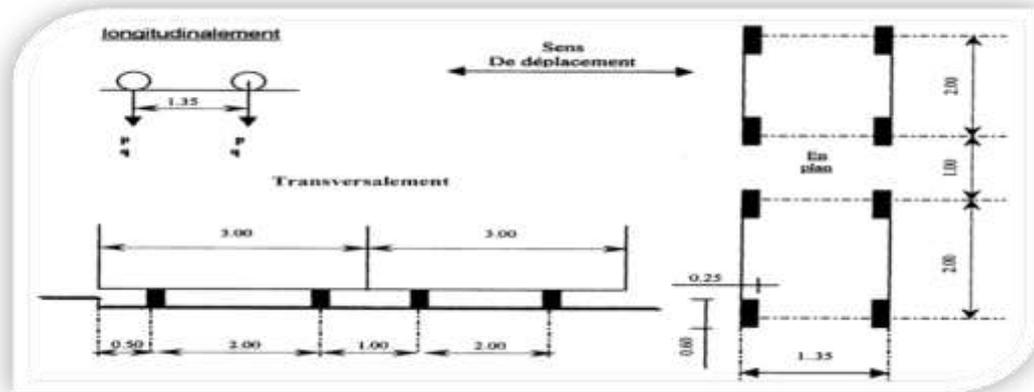
**Figure 10 · Système de charge  $B_c$**

- système de charge  $B_t$

Chaque tandem de ce système de charge est composé de 2 essieux munis des roues simples pneumatiques. Suivant la classe du pont, les valeurs des charges du système  $B_t$  à prendre en compte sont multipliées par un coefficient  $b_t$  qui est fonction de la classe des structures.

Pour ce type de chargement, il convient de respecter les règlements suivants :

- Longitudinalement, un seul tandem est disposé par file.
- Une distance minimale de 0.5 m est exigée entre l'axe de la file des roues excentrées et le bord de la largeur chargeable.



**Figure 11 : Svstème de charae Bt**

▪ Système B<sub>r</sub>

C'est une roue isolée disposée à l'axe longitudinal de la chaussée, cette roue est conventionnellement de 10t. Le rectangle d'impact de la roue peut être placé n'importe où sur la largeur roulable de manière à produire l'effet le plus défavorable.

Coefficient de majoration dynamique  $\delta_c$

Puisque les charges de système B sont des surcharges roulantes, il est nécessaire qu'ils soient multipliés par un coefficient de majoration pour tenir compte des effets dynamiques, ce coefficient applicable aux trois systèmes B<sub>c</sub>, B<sub>t</sub> et B<sub>r</sub>. Il est le même pour chaque élément du pont, il est déterminé à partir de la formule suivante :

$$\delta_b = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2.L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

Avec

Avec L=Max (Largeur roulable ; portée de la travée)

G=Poids total d'une section de couverture de longueur L et toute la largeur relative à cette couverture et aux éléments reposant sur elle.

S=Poids total maximum des essieux du système (B<sub>c</sub> ou B<sub>t</sub>) qu'il est possible de placer sur la longueur L.

**c. Convoi militaire Mc 120**

Ce système est plus utilisé que le système à essieux, un véhicule type de ce genre comporte 2 chenilles de règles d'application du Mc 120 se résument en ces points. Ce système est exclusif de toute autre charge routière, c'est à dire on ne lui ajoute pas l'effet de la charge de trottoir par

exemple. Dans le sens transversal un seul convoi est supposé circule quelque soit la largeur de la chaussée, les chenilles peuvent être disposées sur toute la largeur chargeable, leur position est choisie de manière à obtenir l'effet le plus défavorable. Dans le sens longitudinal, la distance entre deux véhicules successifs d'un convoi est au moins égale à 30.5 m entre les points de contact avec la chaussée. Ce convoi se compose de deux chenilles de masse totale de 110t uniformément répartie séparées de 2.3 m et de longueur 6.1 m.

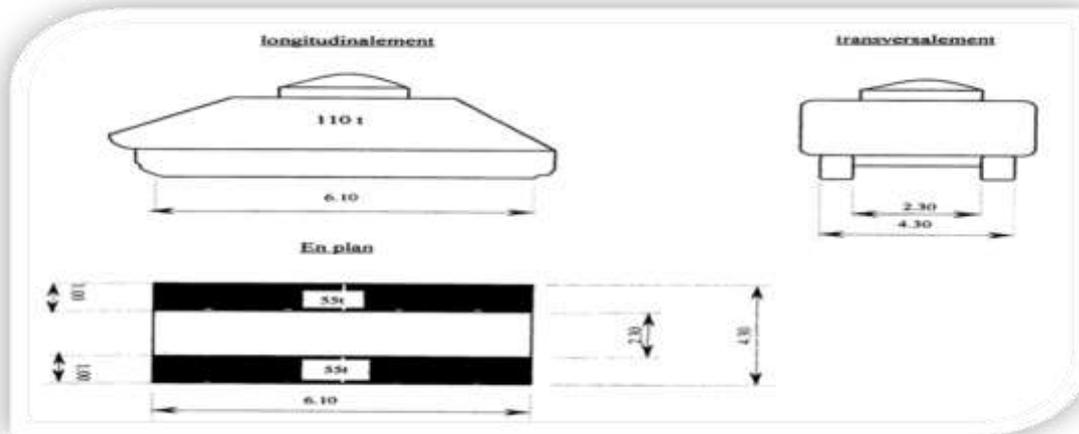


Figure 12 : Charge militaire Mc120

Comme dans le cas des charges de type B la valeur de charge Mc120 sera multipliée par le coefficient de majoration dynamique  $\delta_{Mc}$  qui a pour expression : [1]

$$\text{Avec : } \delta_{Mc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2.L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

- S : poids maximal des charges militaires susceptibles d'être placées sur l'élément considéré, c'est également le poids de deux chenilles.
- G : poids de l'élément considéré
- L: longueur de l'élément considéré.

#### d. Diffusion des charges localisées

Selon le règlement du béton armé, on admet que les charges localisées appliquées à la surface de la dalle se diffusent suivant un angle de 45 ° jusqu'au plan moyen de la dalle.

En ce qui concerne le revêtement, composé généralement d'un matériau moins résistant que le béton (asphalte coulé, béton bitumineux, enrobés,..) l'angle de diffusion des charges localisées diminue à  $37^\circ$

La diffusion de la charge se fait comme le montre cette figure :

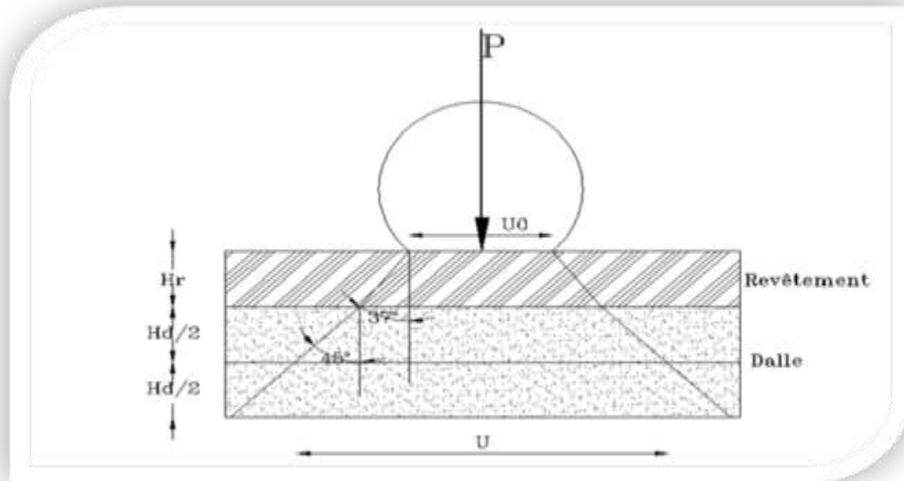


Figure 13 : Diffusion de la charge d'une roue

La charge localisée  $P$  s'applique suivant une aire rectangulaire appelée rectangle d'impact de dimensions  $(U_0, V_0)$ . Elle se répartit au niveau du plan moyen de la dalle, sur une aire rectangulaire de dimensions  $(u, v)$ , appelée rectangle de répartition.

La dimension de la roue parallèlement à l'axe  $xx$  est notée  $u$ , et celle parallèlement à l'axe  $yy$  est notée  $v$  ( $u // l_x$  et  $v // l_y$ ).

Soient :  $U = U_0 + 2 \operatorname{tg}37^\circ h_r + h_d$

$V = V_0 + 2 \operatorname{tg}37^\circ h_r + h_d$ .

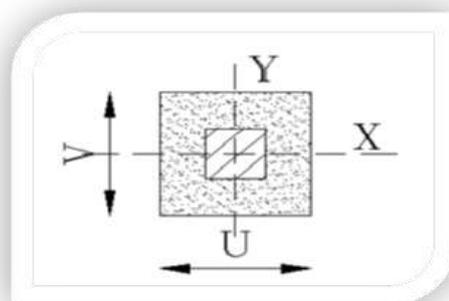


Figure 14 : Rectangle de répartition de la roue de convoi

- Charge Bc

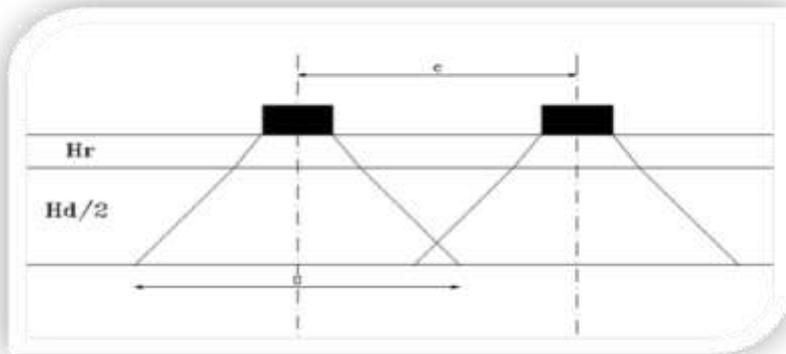


Figure 15 : Chevauchement des rectangles

Deux cas sont à considérer :

\*1er cas : un seul camion est placé sur le hourdis.

\*2ème cas : Deux camions sont placés sur le hourdis.

La densité de charge est :

$$p = \frac{P}{UV}$$

#### 4. COMBINAISON DES CAS DE CHARGES

Deux combinaisons de cas de charges ont été considérées, se sont :

- **ELS** (combinaisons d'actions rares en service) nous avons :

$$G_{\max} + G_{\min}$$

$$G_{\max} + G_{\min} + 1,20 Q_r + Q$$

$$G_{\max} + G_{\min} + Q_{rp} + Q$$

- **ELU** (Combinaison fondamentale en service) nous avons

$$1.35 G_{\max} + G_{\min}$$

$$1.35 G_{\max} + G_{\min} + 1.60 Q_r + 1.50 Q$$

$$1.35 G_{\max} + G_{\min} + 1.35 Q_{rp} + 1.50 Q. \quad (\text{MESSAN, 2015})$$

En dehors de G (max et min) les autres charges peuvent prendre la valeur 0 donnant lieu ainsi à d'autres combinaisons découlant de ces trois principales. L'effort de freinage est lié aux charges  $Q_r$  et ne doit pas être appliqué avec les surcharges routières sur remblai.

**G<sub>max</sub>** : ensemble des actions permanentes défavorables

**G<sub>min</sub>** : ensemble des actions permanentes favorables

**Q** : Charges variables (Poussée hydrostatique, sous-pression, surcharges sur remblai)

**Q<sub>r</sub>** : Actions des charges routières A et B

**Q<sub>rp</sub>** : Action des charges militaires Mc120

Notons qu'il s'agit des combinaisons d'actions rares à l'ELS et des combinaisons fondamentales de service en ELU.

## **5. CRITERES DE DIMENSIONNEMENT**

Les critères suivants seront considérés pour les dimensionnements :

- la stabilité de l'ouvrage est à vérifier ;
- le poinçonnement du sol sous l'ouvrage est à vérifier ;
- la contrainte dans la structure est à vérifier ;
- la stabilité de forme (flèche, flambement, élongation, poinçonnement...) est vérifiée ;
- la section d'action d'acier nécessaire est à calculer ;
- Il est considéré un plot de 5.00 m de largeur calculé en portique pour les efforts intérieurs et vérifié en poinçonnement.

## 6. Calcul de structure

### a. Dalle de crête

pois volumique du béton ( $\rho$ )	2,500	T/m <sup>3</sup>
Module de déformation instantané ( $E_i$ )	32164,00	Mpa
Module de déformation différé ( $E_d$ )	10721,00	Mpa
Poids surfacique du revêtement (sr)	0	T/m <sup>2</sup>
Poids surfacique des trottoirs (st)	0	T/m <sup>2</sup>
Poids volumique de l'eau ( $\lambda_e$ )	1,00	T/m <sup>3</sup>
hauteur de remblai (hr)	0,00	m
hauteur des guide-roues (hgr)	0,00	m
Poids volumique remblai ( $\lambda$ )	1,900	T/m <sup>3</sup>
Coefficient de MARSTON ( $\Psi$ )	1,070	
Angle de frottement interne des matériaux du sol de fondation	20,000	°
Coefficient de poussée des terres ( $\delta$ )	0,350	
Angle de diffusion des charges ( $\alpha$ )	45,000	°
Contrainte normale admissible du sol ( $\sigma_{sa}$ )	0,200	MPa
Contrainte tangentielle admissible du sol ( $\tau_{sa}$ )	0,035	MPa

Module d'élasticité différé du sol est E sol

50.00 MPa

**b. Pré dimensionnement**

Pour ce qui est du pré-dimensionnement, nous allons utiliser les épaisseurs suivantes :

- 20 cm pour les dalles et bèches de crêtes ;
- 40 cm pour la bêche de pied.

Les calculs nous permettront de confirmer ou d'infirmer ces épaisseurs.

Calcul des charges permanentes verticales et horizontales

**Tableau 1 : Classification routière**

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epais mini théorique	Epaisseur retenue	Dimension chanfreins	Larg chaussée	Larg accotement	Long ouvrage	Largeur trottoir	Trottoir sur ouvrage?	largeur roulant	Largeur chargeable	Nombre de voies	Largeur d'une voie	Classe ouvrage
1	4.60	0.00	0.20	0.20	0.000	5.000	0.000	5.000	0.000	NON	4.600	4.100	1.000	4.100	CLASSE 3

**Tableau 2 : Charges permanentes verticales**

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	Dimension chanfreins	Dalle poids pr	Radier poids pr	Piedroits poids pr	Guide-roues	trottoirs	Remblai ou eau	Revêtem-ent	DALLE CHARGE	SOL REACTION
1	4.60	0.00	0.20	0.00	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.500	0.500

**Tableau 3 : Charges permanentes horizontales**

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	hauteur de terre	Dalle	
				about sup	about inf
1	4.60	0.00	0.00	0.00	0.000

c. Calcul des charges hydrostatiques variables

i. Charges variables hydrostatiques: CH

Charges variables hydrostatiques CH									
				Forces horizontales amont		Forces horizontales aval			
Nombre d'ouvertures	Largeur intérieur	Hauteur d'eau	Épaisseur retenue	about superieur	about inferieur	about superieur	about inferieur	Forces verticales sur dalle	Reaction du sol
1	4,6	0,77	0,2	0	0,77	0	-0,77	0,77	-0,77

ii. Charges variables dues à la sous-pression: SP

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Épaisseur Retenue	h sous pression	Dalle
1	4.60	0.00	0.20	1.00	-1.000

**d. Calcul des charges routières et militaires**

**i. Charge A1**

Nombre d'ouverture	Largeur intérieur	Hauteur intérieur	Epaisseur retenue	A(l)	a1=f(n et classe)			A(l)xa		Charge Dalle	Reaction Sol	Freinage	
					n=1	n=2	n=3	1	a2				2
1	4,6	0	0,2	24,80	1	1	0,9	22,32	0,688	15,345	-	15,345	0,394

**ii. Charge Bc**

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	Lx n=1	Ly n=1	Lx n=2	Ly n=2	Lx n=3	Ly n=3	Bc n=1	Bc n=2	Bc n=3	bc n=1	bc n=2	bc n=3	Coeff maj dyn (δ)	δxbcb	Coef Linéar	CHARGE DALLE	REACTION SOL	FREINAGE
1	4,60	0,00	0,20	1,75	2,250	1,750	4,750	1,750	7,500	5,024			1,000			1,200	6,028	1,000	-6,028	6,028	7,317

**iii. Charge Bt**

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	Lx n=1	Ly n=1	Lx n=2	Ly n=2	Bt n=1	Bt n=2	bt n=1	bt n=2	Coeff maj dyn (δ)	δxbtbt	Coef Linéar	CHARGE DALLE	REACTION SOL
1	4,60	0,00	0,20	1,60	2,600			6,349		0,900	0,900	1,200	6,857	0,974	-6,681	6,681

**iv. Charge Br**

La charge Br ne peut charger plus d'une voie, elle ne peut non plus chargée plus d'une travée

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	Lx n=1	Ly n=1	Lx n=2	Ly n=2	Br n=1	Br n=2	br n=1	br n=2	Coeff maj dyn (δ)	δxbbr	Coef Linéar	CHARGE DALLE	REACTION SOL
1	4,60	0,00	0,20	0,30	0,600			25,000		1,000	1,000	1,200	30,000	0,183	-5,481	5,481

v. Charge militaire Mc120

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	Lx n=1	Ly n=1	Lx n=2	Ly n=2	Mc120 n=1	Mc120 n=2	mc n=1	mc n=2	Coeff maj dyn (δ)	δxmcxMc	Coef Linéar	CHARGE DALLE	REACTION SOL
1	4.60	0.00	0.20	4.80	4.300			3.847		1.000		1.200	4.616	1.000	-4.616	4.616

vi. Charges variables sur remblai

Charges sur remblai  $Q_r = \text{Max}(1; B_t; B_r)$  sans coefficient de majoration dynamique

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	Qr	coeff (δ) Pouss Terre	Poussée G	Poussée D	Charges sur la dalle de transition				
								Fc sur pdr ext	Mc G	Mc D	Réact Rad	
1	4.60	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Nous prenons  $Q = 0$  car la dalle étant au dessus du remblai les charges sur remblai n'ont pas d'effet sur les plots intérieurs

e. Combinaisons de charges

Les combinaisons produisant les effets les plus nocifs pour les ouvrages ont été retenues et nous avons :

N° Comb	Etat limite	CP	AL1	BC1	BT1	BR1	MC1	FR (AL)	FR (BC)	CH	SP	QR	Effets recherchés
1	ELS	1.00											Cas courant à vérifier
	ELU	1.35											
2	ELS	1.00			1.200								Moment max en travée de dalle
	ELU	1.35			1.600								
3	ELS	1.00								1.000	1.000		Effort Normal Maximal dans la dalle
	ELU	1.35								1.500	1.500		
4	ELS	1.00							1.000				Contrainte tangentielle maximale
	ELU	1.35							1.200				

**NB**

: *L'effort de freinage ne peut s'appliquer que sur un côté et non les deux à la fois*

f. Valeurs des combinaisons de charges sur la dalle de crête  
 i. ELS (Etat Limite de Service)

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	COMBINAISON N°1										
				Dalle						Fc	Mc	FH		
1	4.60	0.00	0.20	0.500										

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	COMBINAISON N°2										
				Dalle						Fc	Mc	FH		
1	4.60	0.00	0.20	7.518										

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	COMBINAISON N°3										
				Dalle						Fc	Mc	FH		
1	4.60	0.00	0.20	0.500									2.000	

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	COMBINAISON N°4										
				Dalle						Fc	Mc	FH		
1	4.60	0.00	0.20	7.317										

ELU (Etat Limite Ultime)

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	COMBINAISON N°1										
				Dalle						Fc	Mc	FH		
1	4.60	0.00	0.00	0.675										

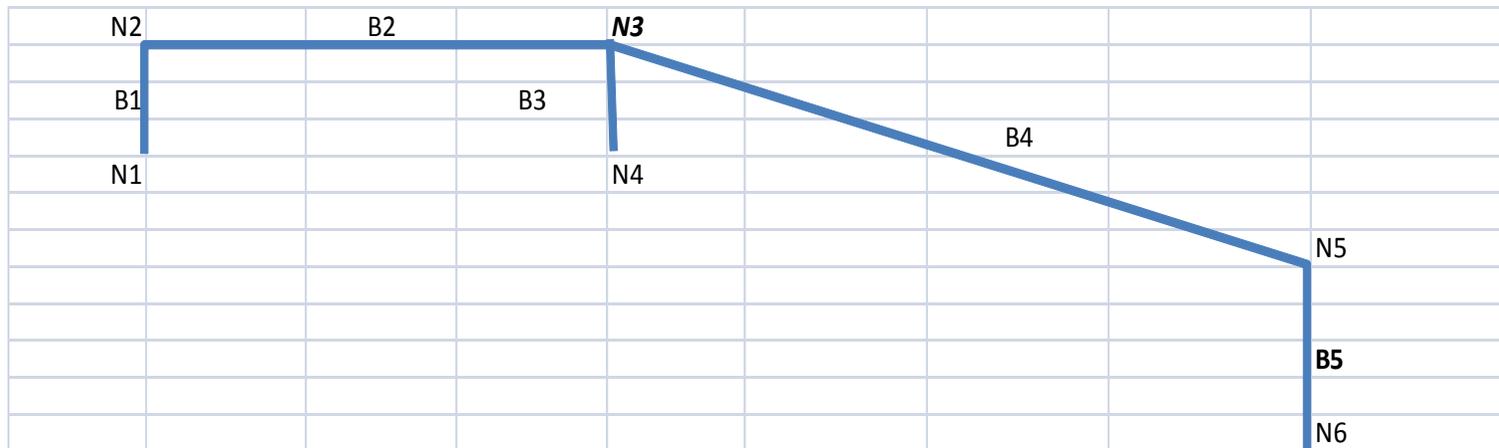
Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	COMBINAISON N°2										
				Dalle						Fc	Mc	FH		
1	4.60	0.00	0.00	10.090										

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	COMBINAISON N°3										
				Dalle						Fc	Mc	FH		
1	4.60	0.00	0.00	0.825									3.000	

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Epaisseur retenue	COMBINAISON N°4										
				Dalle						Fc	Mc	FH		
1	4.60	0.00	0.00	8.780										

g. Schémas de calcul des efforts sur Robot

➤ Barres et Nœuds



➤ Coordonnées des nœuds

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Épaisseur retenue	N1		N2		N3		N4		N5		N6	
				X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5	X6	Y6
1	4.60	0.00	0.20	0.00	0.000	0.000	0.400	4.800	0.400	4.800	-0.200	9.800	-2.100	9.800	-3.150

➤ Définition des barres

Nombre Ouvertures	Largeur intérieure	Hauteur intérieure	Épaisseur retenue	Barre B1		Barre B2		Barre B3		Barre B4		Barre B5	
				Départ	Fin	Départ	Fin	Départ	Fin	Départ	Fin		
1	4.60	0.00	0.20	N1	N2	N2	N3	N4	N3	N3	N5	N6	N5

#### h. Calcul des charges sur la dalle du coursier

Il faut noter que la dalle du coursier est soumise aux efforts suivants :

- Son poids propre de même intensité que la dalle de crête mais faisant un angle non rectangulaire avec la section;
- La charge hydraulique dont la hauteur baisse en passant d'un seuil pour la dalle de crête à un coursier pour la dalle du coursier ;

Cette hauteur qui doit conserver le débit suit la formule de Manning :

$$Q_p = V \times S_m$$

$$S_m = h \times (b + h/p) = Q_p / K_s \times R_h^{3/2} \times I^{1/2}$$

$$P_m = b + 2 \times \left(\frac{h}{p}\right) \times (1 + p^2)^{0.5}$$

$$R_h = S_m / P_m \quad R_h = \frac{h \times \left(b + \frac{h}{p}\right)}{b + 2 \times \left(\frac{h}{p}\right) \times (1 + p^2)^{0.5}}$$

$$b = \frac{Q_p}{K_s \times h \times I^{1/2} \times R_h^{2/3}} - \frac{h}{p}$$

Par ailleurs  $Q_p = m \times b \times h_s \times (2 \times g \times h_s)^{0.5}$

$h_s$  étant la hauteur d'eau sur le seuil : ici  $h_s = 0.77$  m ;  $b = 1$  ;  $m = 0.4$ ,  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>

On trouve donc  $Q_p = 1,21$  m<sup>3</sup>/s par ml.

$I = 1/2$ ,  $K_s = 60$  on trouve après itérations  $h = 0.344$  m avec une vitesse de  $14$  m<sup>3</sup>/s qui est assez élevée pour le béton.

Nous ne prévoyons pas la sous-pression sous cette dalle à cause de l'existence d'une couche de sable servant de drains pour dissiper la sous-pression.

Nous allons prendre  $1.00$  t/m<sup>2</sup> (soit une hauteur d'eau de  $1$  m pour tenir compte du ressaut au bas de la dalle du coursier) sur cette dalle quand on suppose qu'il y a écoulement Combinaison 3, sinon seul son poids propre sera gardé.

ANNEXE V: METRE ET DEVIS

Tableau : volume remblai de la digue

Numéro du profile	Côte TN (m)	Côte de la digue	Largeur en crête Lc (m)	Talus amont (Ha/Va)	Talus aval (Hm/Vm)	Distance partielle di (m)	Decapage d (m)	Hi=Di-TN+d (m)	Si=[((Ha/Va+Hm/Vm)*Hi+Lc)+Lc]*Hi/2	Vi=(Si-1+Si)*di/2
		(m) Di							(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )
1	286	286	3,5	2	2	0	0,2	0,20	0,78	
2	285,42	286	3,5	2	2	16	0,2	0,78	3,95	37,82
3	284,86	286	3,5	2	2	20	0,2	1,34	8,28	122,28
4	284,09	286	3,5	2	2	20	0,2	2,11	16,29	245,71
5	283,12	286	3,5	2	2	20	0,2	3,08	29,75	460,43
6	282,92	286	3,5	2	2	20	0,2	3,28	33,00	627,51
7	282,07	286	3,5	2	2	20	0,2	4,13	48,57	815,67
8	281,64	286	3,5	2	2	20	0,2	4,56	57,55	1061,18
9	281,63	286	3,5	2	2	20	0,2	4,57	57,77	1153,14
10	281,56	286	3,5	2	2	20	0,2	4,64	59,30	1170,66
11	281,55	286	3,5	2	2	20	0,2	4,65	59,52	1188,21
12	281,57	286	3,5	2	2	20	0,2	4,63	59,08	1186,00
13	281,53	286	3,5	2	2	20	0,2	4,67	59,96	1190,43

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

14	281,51	286	3,5	2	2	11,78	0,2	4,69	60,41	708,99
15	281,52	286	3,5	2	2	20	0,2	4,68	60,19	1205,94
16	281,51	286	3,5	2	2	20	0,2	4,69	60,41	1205,94
17	281,37	283,75	3,5	2	2	40	0,2	2,58	22,34	1655,03
18	281,5	283,75	3,5	2	2	40	0,2	2,45	20,58	858,47
19	281,61	283,75	3,5	2	2	20	0,2	2,34	19,14	397,22
20	281,54	283,75	3,5	2	2	29,3	0,2	2,41	20,05	574,18
21	281,59	283,75	3,5	2	2	13,02	0,2	2,36	19,40	256,83
22	281,63	283,75	3,5	2	2	10	0,2	2,32	18,89	191,42
23	281,75	283,75	3,5	2	2	29,74	0,2	2,20	17,38	539,27
24	279,5	283,75	3,5	2	2	14,3	0,2	4,45	55,18	518,81
25	280,01	283,75	3,5	2	2	13,5	0,2	3,94	44,84	675,13
26	280,86	283,75	3,5	2	2	19,98	0,2	3,09	29,91	746,75
27	281,96	283,75	3,5	2	2	8,32	0,2	1,99	14,89	186,36
28	282,54	286	3,5	2	2	20	0,2	3,66	39,60	544,87
29	283,19	286	3,5	2	2	14,16	0,2	3,01	28,66	483,26
30	283,25	286	3,5	2	2	10	0,2	2,95	27,73	281,93
31	283,66	286	3,5	2	2	15,85	0,2	2,54	21,79	392,48
32	284,06	286	3,5	2	2	20	0,2	2,14	16,65	384,43
33	285,07	286	3,5	2	2	13,23	0,2	1,13	6,51	153,19
34	286	286	3,5	2	2	17,93	0,2	0,20	0,78	65,35

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

	Total du volume de remblai de la Digue (m3) au dessus du TN	21 285			
TableauV.1.7 : Résultats du métré du projet					
N° Prix	DESIGNATION	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
I	INSTALLATIONS GENERALES DE CHANTIER				
101	Amenée et repli du matériel	ff	1	2 500 000	2 500 000
102	Installation et Implantation du chantier	ff	1	2 750 000	2 750 000
103	Abattage et dessouchage des arbres dans la cuvette	ha	201,6763 12	50 000	10 083 816
104	mise en œuvre du plan de gestion environnementale et sociale	U	1	20 160 000	20 160 000
	TOTAL INSTALLATION			35 493 816	
II	DIGUE				
201	abattage et dessouchage d'arbres de circonférence supérieure ou égale à 1,00 m, dans l'emprise de la digue	ha	2	50 000	100 000
202	Débroussaillage et nettoyage	ff	1	150000	150 000
N° Prix	DESIGNATION	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
203	Décapage de l'emprise, épaisseur max. 20 cm	m3	2508	400	1 003 324
204	Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	5683	3 000	17 049 966
205	Déblai manuel pour muret de crête, mur parapet, butée et drain de pied	m3	600	3 500	2 100 000
206	Remblai argileux compacté à l'OPN pour tranchée d'ancrage	m3	5683	4 500	25 574 948
207	Remblai argileux compacté à l'OPN pour corps de digue	m3	21 285	4 000	85 139 523
208	filtre horizontal	m3	4964	4 500	22 338 000

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

209	Couche de pose talus amont et aval	m3	1174	4 500	5 282 617
210	perré sec talus amont et aval	m3	5870	5 000	29 347 870
211	Perré maçonné sur 20m sur le talus amont	m3	199	37500	7 462 500
212	enrochement butée de pied amont et drain de pied	m3	600	5000	3 000 000
213	béton cyclopéen pour muret de crête	m3	146	100 000	14 583 074
214	Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m3 pour mur parapet	m3	292	50 000	14 583 074
215	Revêtement latéritique compacte sur crête	ml	237	45 000	10 665 000
216	Echelle limnimétriques et pièces en acier	ml	6	150 000	900 000
Total digue				239 266 540	
III	Bassin de dissipation				
301	Partie rectangulaire	m3	243,3	150 000	36497671
302	seuil terminal	m3	18,9	150 000	2835966
303	Parafouille	m3	22,26770 53	100 000	2226771
304	Bloc de chute	m3	4,6	100 000	455848
305	Bloc chicane	m3	4,4	100 000	436494
306	Protection aval en gabion (moellons)	m3	833	12 000	9999925
Total Bassin de dissipation				52 452 674	
IV	Mur Bajoyer				

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

401	Partie trapézoïdale (béton armé dosé à 350KG/M3)	m3	19,7	150 000	2957811,813
402	Écran anti-renard(béton armé dosé à 350KG/M3)	m3	0,9	150 000	131458,3028
403	Partie rectangulaire(béton armé dosé à 350KG/M3)	m3	3,8	150 000	575159,4174
404	Talon(béton armé dosé à 350KG/M3)	m3	19,4	150 000	2902524,107
Total Mur Bajoyer				6 566 954	
V	Diguette de protection				
501	Débroussaillage et décapage sur une épaisseur de 0,2m	m3	110	300	33000
502	Remblais compacté à l'OPN pour corps de	m3	266	4000	1062500
503	Couche de couronnement latéritique	m3	60	4000	240000
504	Couche de revêtement latéritique talus extérieur (épaisseur 0,1m)	m3	16,25	4000	65000
505	Fouille à la main pour butée de pieds et drain	m3	51,6	2500	129000
506	Perré maçonné (épaisseur 0,2 cm) sur le talus	m3	32,5	12500	406250
507	Perré non maçonné (épaisseur 0,2m) sur talus	m3	25	8000	200000
Total diguette de protection				2 135 750	
VI	OUVRAGE DE PRISE ET DE VIDANGE				
601	Déblai manuel	m3	274,1	3 500	959 445
602	Béton armé dosé à 350 kg/m3	m3	137,06	150 000	20 559 546
603	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3	m3	3	50 000	150 000
604	Perré maçonné de protection entre talus aval et bac aval (ép. 0.25 m)	m3	6	37 500	225 000
605	Perré sec de protection entre bac amont et talus amont (ép.0.2m)	m3	7	10 000	70 000
606	Conduite en acier Ø 500/ Ø 1000	ml	83	250 000	20 750 089

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**

607	Crépine Ø 500/ Ø 1000	u	2	250 000	500 000
608	Robinet vanne Ø 500/ Ø 1000 et accessoires	u	2	5 000 000	10 000 000
609	Robinet vanne Ø 1000 et accessoires	u	2	5 000 000	10 000 000
610	Grille de protection	u	2	150 000	300 000
TOTAL OUVRAGE DE PRISE ET D E VIDANGE				63 514 081	
TOTAL PROJET SANS DEVERSO IR (HTVA)				399 429 813	
TOTAL PROJET SANS DEVERSO IR (TVA)				471 327 180	
VII	DÉVERSOIR				
	Déversoir Creager				
701	frais tâcheron	ff	1	2 000 000	2 000 000
702	béton ordinaire	m3	1703	100000	170 343 403
TOTAL déversoir Creager		HTVA		172 343 403	
		TVA		203 365 216	
TOTAL PROJET AVEC DÉVERSOIR Creager (HTVA)				602 795 029	
TOTAL PROJET AVEC DÉVERSOIR Creager (TVA)				711 298 134	
VIII	déversoir Radier Submersible				
801	frais tâcheron	ff	2500000	3000 000	3 000 000
802	Remblai (m3)	ff	4 559	4 500	20 516 907
803	béton (ordinaire et armé) dosé 350Kg/m3	ff	733	125 000	91 679 778
TOTAL déversoir Radier Submersible HTVA				115 196 685	
TOTAL PROJET AVEC TVA				135 932 088	
N° Prix	DÉSIGNATION	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
DÉVERSOIR Radier (HTVA)				115 196 685	
TOTAL PROJET AVEC DÉVERSOIR Radier Submersible (TVA)				607 259 268	

ANNEXE VI : CARTES ET PLANS

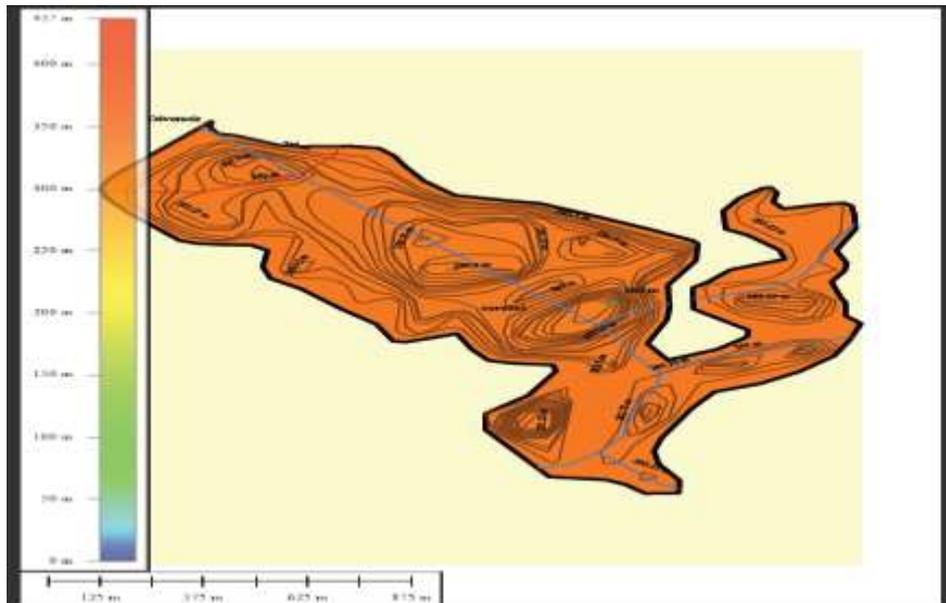


FIGURE : Cuvette du barrage de Dianga.

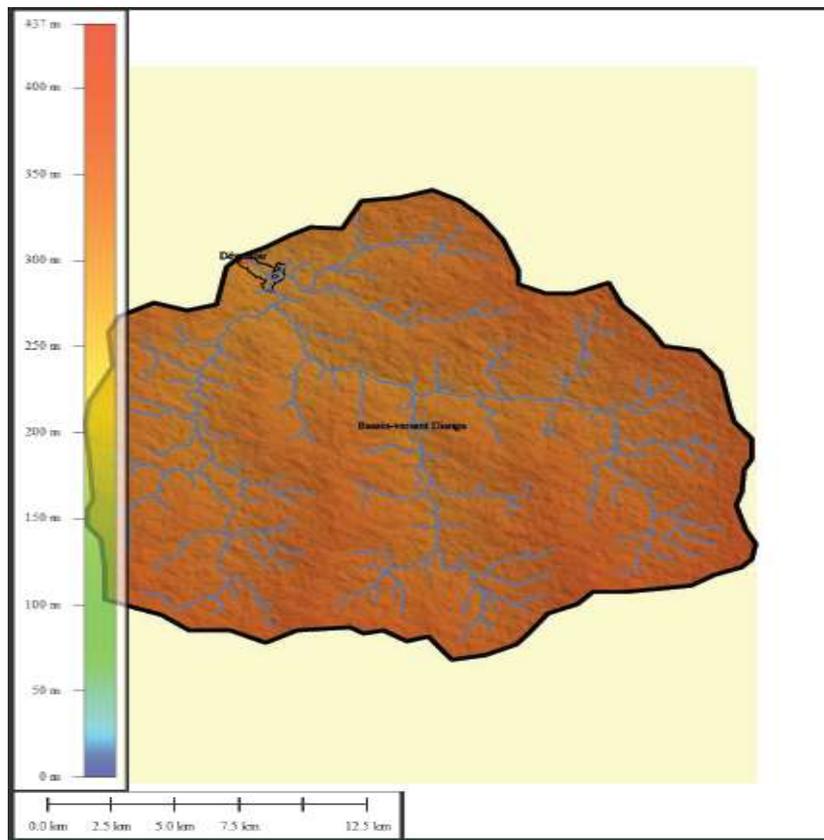
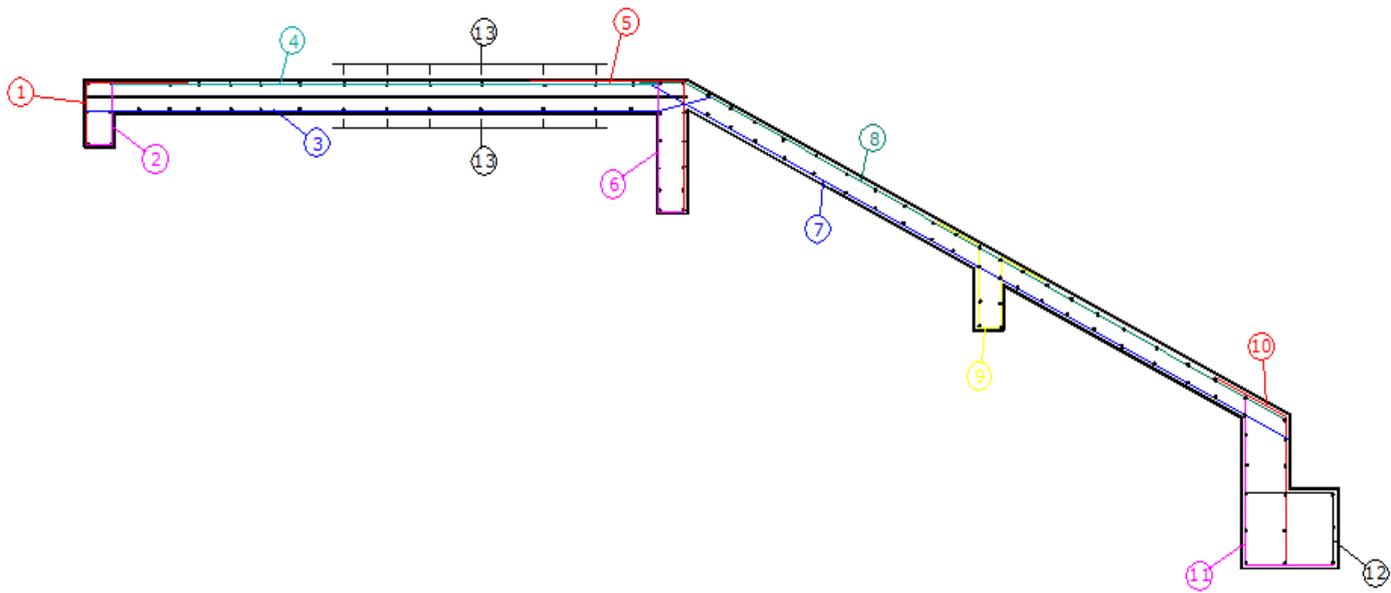


FIGURE : BASSIN VERSANT DE Dianga

**Études comparatives entre un déversoir poids et un déversoir radier submersible : Cas de la digue de Dianga, Province du Gourma (BURKINA FASO)**



A

FIGURE : PLAN DE FERRAILLAGE.

