

C.E.T.R.I

CABINET D'ETUDE TECHNIQUE ET DE RECHERCHE EN INGENIERIE

BP 1133 OUAGADOUGOU-F 09

E-mail : cei@ceinet.bf

Tél : 50 36 02

ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DE LA REHABILITATION DU BARRAGE DE DOULOU, DANS LA PROVINCE DU BOULKIEMDE AU BURKINA FASO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT OPTION : Infrastructures et Réseaux Hydrauliques

Présenté et soutenu publiquement le 04 Juillet 2017, par

Carine Claudette BERE

Travaux dirigés par : Mr Moussa LO

Enseignant, au 2iE

Département Génie civil et Hydraulique

Et

Mr Charlemagne Valery OUEDRAODO

Ingénieur Génie civil

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr. Amadou KEITA**

Membres et correcteurs :

Dr. Dial NIANG

Dr. Abdou LAWANE

M. Moussa LO

Promotion [2015/2016]

DEDICACES



A TOUTE MA FAMILLE

REMERCIEMENTS

Nous témoignons nos sincères remerciement à:

- ❖ Notre père BERE Victor pour toutes ses années d'efforts et de sacrifices ;
- ❖ Notre mère MILLOGO Victorine pour ses prières, ses conseils et encouragements ;
- ❖ Notre Oncle OUEDRAOGO Claude pour les énormes sacrifices consentis à notre égard depuis le début de mes études ;
- ❖ La famille YARO pour son soutien et ses encouragements ;
- ❖ Mes frères, mes sœurs et ma fille Cynthis ; voyez en ce travail l'ardeur au travail et soyez des modèles pour d'autres ; merci pour vos soutiens moraux ;
- ❖ Mr LO Moussa, notre Directeur de Mémoire au 2iE, pour son assistance, sa disponibilité et tous les conseils prodigués tout au long de ce présent mémoire ;
- ❖ Mr DAMIBA Hervé Désiré, Gérant du cabinet d'étude CETRI, pour nous avoir donné l'opportunité d'effectuer notre stage dans sa structure ;
- ❖ Mr DERA, Directeur Technique du cabinet CETRI, pour avoir mis à notre disposition les éléments nécessaires à l'élaboration du mémoire ;
- ❖ Mr OUEDRAOGO Valery, notre maître de stage pour ses suivis et directives pour la consistance de ce mémoire ;
- ❖ Mr GUIGMA Josué pour nous avoir fait profiter de ses connaissances et expériences dans le domaine des aménagements hydro-agricole ;
- ❖ Mr COULIBALY Pié Pierre pour sa disponibilité, son soutien et ses conseils ;
- ❖ Tous le corps professoral de 2iE en particulier ceux qui ont contribué à notre formation ;
- ❖ A l'ensemble du personnel de CETRI, pour l'accueil et le soutien témoigné à notre égard ;

A tous ceux qui de près ou de loin, ont œuvré pour l'aboutissement de ce travail et de notre formation, veuillez recevoir notre profonde gratitude.

PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Fondement juridique et missions

Fondé en Juillet 1999, le Cabinet d'Etudes Techniques et de Recherche en Ingénierie (CETRI) était au départ une entreprise individuelle qui a évolué en une entreprise à responsabilité limitée (SARL). Elle œuvre dans le domaine des prestations intellectuelles et de maîtrise d'œuvres et a pour mission principale, la valorisation de ses services dans ses domaines d'intervention.

Leurs prestations vont des études préliminaires et de faisabilité à l'élaboration des dossiers d'appel d'offres en passant par les études d'avant-projet, les études techniques détaillées et les études d'exécution. Il assure également des missions de pilotage, de maîtrise d'ouvrage déléguée, de contrôle et supervision des travaux d'assistance technique ou d'expertise.

Domaines de compétences

Le cabinet CETRI s'inscrit dans un cadre multisectoriel et s'articule autour des domaines suivants :

- Bâtiments et travaux publics (bâtiments ; constructions métalliques et bois ; Infrastructures de transports ; ouvrages d'art)
- Hydraulique et environnement (barrages ; aménagements hydroagricoles ; hydraulique urbaine et rurale ; assainissement et environnement)
- Socio-Economie et Formations (économie ; micro-crédit ; plan stratégique de développement ; sociologie ; animations ; formations)

Le cabinet CETRI comprend :

- Une Direction Générale ;
- Une Direction Administrative et financière ;
- Une Direction Technique ;
- Une Direction du Marketing ;
- Un Service des Infrastructures de développement et Environnement ;
- Un Service Socio-économique et Formations.

RESUME

Le présent mémoire rapporte les études techniques de la réhabilitation du barrage de **DOULOU**, à vocation hydro-agricole, situé dans la province du Boulkièmdé, au Burkina Faso. Construit en **1982**, il a connu de nombreuses réhabilitations dont la plus récente en 2013. Malgré cela une étude diagnostique atteste que certains ouvrages du barrage présentent des dégradations, dont les causes et les conséquences ont été décelées. Une série de vérification a prouvé que le barrage actuel n'arrive pas à satisfaire les besoins en eau de la population.

La recherche de solutions a conduit à un changement du déversoir radier actuel en déversoir poids, avec de nouvelles dimensions hydrauliques : un rehaussement de **0,5 m** donnant une hauteur de **2,25 m**, une longueur de **150 m**, un débit de **228,30 m³/s** à évacuer avec une lame d'eau de **0,8 m**. La capacité de la retenue sera augmenté de **825120 m³** soit **69%** du volume actuel. Un bassin de dissipation à ressaut de **type II USBR** d'une longueur de **5 m** est proposé à l'aval du déversoir.

La digue sera rehaussée de **0,25 m** avec apport de matériaux pour uniformiser les pentes des talus amont et aval à **2H/1V**. Un mur parapet de **50cm×50cm** sera construit sur la crête amont de la digue pour diminuer le risque de submersion de la digue par des crues exceptionnelles.

Deux bajoyers de hauteur **3,75 m** serviront de jonction entre la digue et le déversoir. Le coût de la réhabilitation est estimé à **395 505 149 F CFA TTC**.

Mots Clés :

-
- 1 – Etude**
 - 2 - Réhabilitation**
 - 3 - Barrage**
 - 4 - Doulou**
 - 5 - Boulkièmdé**

ABSTRACT

This paper reports the technical studies of the rehabilitation of the **DOULOU** dam, with hydro-agricultural vocation, located in the province of Boulkiemde, in Burkina Faso. Built in **1982**, it has undergone numerous rehabilitations, which the last has been rehabilitated in **2013**. Despite this, a diagnostic study confirms that some dam structures have been damaged, the causes and consequences of whose have been identified. A series of verification proved that the current dam fails to meet the water needs of the population.

The search for solutions led to a change from the current weir to the weir, with new hydraulic dimensions: an elevation of **0,5 m** giving a height of **2,25 m**, a length of **150 m**, a flow of **228,30 m³/s** to be evacuated with a water layer of **0,8 m**. The capacity of the reservoir will be increased by **825120 m³** or **69%** of the current volume. A **5 m** long, type II USBR leakage basin is proposed downstream of the spillway.

The dike will be raised by **0,25 m** with materials to equalize the slopes of the upstream and downstream slopes at **2H/1V**. A parapet wall of **50cm×50cm** will be built on the upstream ridge of the dike to reduce the risk of submersion of the dike by exceptional floods.

Two bajoyers of height **3,75 m** will serve as junction between the dike and the weir. The cost of the rehabilitation is estimated at **395 505 149 F CFA TTC**.

Key words:

-
- 1 - Study**
 - 2 - Rehabilitation**
 - 3 - Dam**
 - 4 - Doulou**
 - 5 - Boulkiemde**

LISTE DES ABREVIATIONS

- BOAD** : Banque Ouest Africaine de développement
- CETRI** : Cabinet d'Etude Technique pour la Recherche en Ingénierie
- CIEH** : Comité Interafricain des Etudes Hydrauliques
- C.N.B.B** : Comité National des Barrages au Burkina
- C.F.B.R** : Comité Français des Barrages et Réservoirs
- DGIH** : Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques
- ONBAH** : Office National de Barrages et des Aménagements Hydro-agricoles
- FAO** : Fonds des Nations Unies pour l'Agriculture de l'Alimentation
- PRBA** : le Projet de Réhabilitation de Barrages et d'Aménagements de périmètres irrigués et bas-fond dans les provinces du Boulkiémdé, du Ziro, du Sanguié et des Balés
- PHE** : Plus hautes eaux
- PEN** : Plan d'eau normal
- USBR** : Union Station Bureau of Reclamation
- TN** : Terrain Naturel
- ORSTOM** : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Table des matières

DEDICACES.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACUEIL.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES.....	xii
INTRODUCTION.....	1
OBJECTIFS DU TRAVAIL.....	2
I. OBJECTIF GENERAL.....	2
II. OBJECTIFS SPECIFIQUES.....	2
MATERIELS ET METHODES.....	3
I. METHODOLOGIE.....	3
II. MATERIELS.....	10
RESULTATS.....	11
CHAPITRE 1 : CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE.....	11
I. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	11
I.1 Localisation.....	11
I.2 Accès au site.....	12
II. MILIEU PHYSIQUE (CLIMAT, VEGETATION, SOL, RELIEF).....	12
II.1 Le climat et la végétation.....	12
II.2 Le relief et le sol.....	13
III. SITUATION DEMOGRAPHIQUE.....	14
III.1 La population.....	14
III.2 Mouvements migratoires.....	14

CHAPITRE 2 : ETUDE DIAGNOSTIQUE DU BARRAGE DE DOULOU	15
I. HISTORIQUE DU BARRAGE	15
II. ETATS ACTUEL DU BARRAGE DE DOULOU.....	16
II.1 La digue	16
II.2 Le déversoir radier	17
II.4 L'ouvrage de prise	17
II.5 A l'aval du barrage	19
III. CAUSES ET CONSEQUENCES DE DEGRADATIONS RENCONTREES SUR LE BARRAGE.....	20
CHAPITRE 3 : ETUDES DE BASE	21
I. SYNTHÈSE ET ANALYSE DES RESULTATS DES ETUDES TOPOGRAPHIQUES	21
I.1 Synthèse	21
I.2 Analyse	22
II. SYNTHÈSE DES ETUDES GEOTECHNIQUES	24
III. SYNTHÈSE DE L'ETUDE SOCIO-ECONOMIQUE	24
IV. ETUDES HYDROLOGIQUES.....	25
III.1 Analyse des données pluviométriques	25
III.2 Caractéristiques du bassin versant.....	27
III.3 Prédétermination de la crue du projet	30
CHAPITRE 4 : VERIFICATION DES OUVRAGES EXISTANT	31
I. VERIFICATION DES DIMENSIONS DE LA DIGUE.....	31
II. VERIFICATION DE L'EVACUATEUR DE CRUE.....	32
III. VERIFICATION DE LA REVANCHE LIBRE DU SEUIL	33
IV. CRUE DE RUPTURE DU BARRAGE ACTUEL	34
V. VERIFICATION DE LA COTE DE CALAGE DE LA PRISE.....	34
IV.1 Etude de la retenue (apports et pertes)	34

IV.2 Evaluation des besoins en eau.....	38
CHAPITRE 5 : PROPOSITION DE REHABILITATION	41
I. PROPOSITION DE REHABILITATION DE LA DIGUE DU BARRAGE.....	41
II. REHABILITATION DE L'EVACUATEUR DE CRUE	42
II.1 Seuil déversant.....	42
II.2 Choix du type de déversoir.....	43
II.3 Etude de la stabilité du déversoir.....	43
II.4 Dimensionnement du bassin de dissipation.....	44
II.3 Dimensionnement des bajoyers	46
III. PROPOSITION DE REHABILITATION DES DIGUETTES DE PROTECTION.....	47
IV. PROPOSITION DE REHABILITATION DE L'OUVRAGE DE PRISE	48
DISCUSSION ET ANALYSES.....	49
I. LA DIGUE DU BARRAGE	49
II. L'EVACUATEUR DE CRUE	49
III. COTE DE CALAGE DE LA PRISE.....	49
IV. DIFFICULTE DE MISE EN ŒUVRE.....	50
V. MISE EN PLACE D'UN DISPOSITIF D'AUSCULTATION	51
VI. ESTIMATION DU COUT DE LA REHABILITATION.....	51
VII. IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET.....	51
CONCLUSION.....	52
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	53
BIBLIOGRAPHIE	54
ANNEXES	I
ANNEXE 1 : Notes de calculs	II
ANNEXE 2 : Données météorologiques.....	XXVI
ANNEXE 3 : Plan de masse.....	xxx
ANNEXE 4 : Plan de réhabilitation de la digue	xxxi

<i>ANNEXE 5 : Simulation de La retenue</i>	<i>xxxii</i>
<i>ANNEXE 6 : Coupe de l'évacuateur de crue</i>	<i>xxxiii</i>
<i>ANNEXE 7 : Diguette de protection.....</i>	<i>xxxiv</i>
<i>ANNEXE 8 : Mur bajoyer.....</i>	<i>xxxv</i>
<i>ANNEXE 9 : Devis estimatif du projet.....</i>	<i>xxxvi</i>
<i>ANNEXE 10 : Impacts attendus sur le secteur socio – économique.....</i>	<i>xxxix</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Coordonnées géographiques du village de Doulou.....	12
Tableau 2: Paramètres climatiques à Ouagadougou	13
Tableau 3: Population de Doulou au recensement 2004.....	14
Tableau 4: Caractéristiques du barrage actuel.....	15
Tableau 5: Synthèse des causes et conséquences des dégradations	20
Tableau 6: Coordonnées UTM (Zone 30) et altitudes des bornes implantées sur la digue.....	21
Tableau 7: Hauteur-surface-volume de la cuvette de Doulou.....	22
Tableau 8: Pluviométrie annuelle pour différentes périodes de retour	26
Tableau 9: Caractéristiques du bassin versant.....	29
Tableau 10: Paramètres de calcul du débit de crue	30
Tableau 11: Tableau de synthèse du débit de crue par les méthodes empiriques	30
Tableau 12: Pentés de talus en fonction de la hauteur du barrage	31
Tableau 13: Lamé d'eau au-dessus du déversoir (h)	32
Tableau 14: Estimation de la revanche	33
Tableau 15: Apports liquides	35
Tableau 16: Apports solides.....	36
Tableau 17: Evaporation dans la retenue	37
Tableau 18: Evaluation des besoins en eau agricoles	38
Tableau 19: Evaluation des besoins en eau pastoraux	39
Tableau 20: Evaluation des besoins en eau domestique	39
Tableau 21: Caractéristiques géométrique de la zone de prolongement.....	41
Tableau 22: Détermination de la charge h (m) et de la longueur L (m).....	42
Tableau 23: Vérification de la stabilité du déversoir	44
Tableau 24: Caractéristiques du bassin à ressaut	45
Tableau 25: Caractéristiques des blocs chicanes.....	46
Tableau 26: Caractéristiques géométrique du bajoyer	46
Tableau 27: Vérification de stabilité du bajoyer	47

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de situation de DOULOU	11
Figure 2: Histogramme de pluies	13
Figure 3: Crête de la digue du barrage	16
Figure 4: Talus aval de la digue du barrage	16
Figure 5: Aperçu du déversoir du barrage.....	17
Figure 6: Aperçu du mur bajoyer	17
Figure 7: La cuvette du barrage.....	18
Figure 8: Accès à l'eau du barrage par la cuvette	18
Figure 9: Bac aval	19
Figure 10: Accès à la prise d'eau.....	19
Figure 11: Aperçu du canal primaire.....	19
Figure 12: Courbe hauteur-surface.....	23
Figure 13: Courbe hauteur-volume	23
Figure 14: Analyse statistique des données pluviométriques annuelles de Koudougou.....	26
Figure 15: Analyse des données pluviométriques journalières de Koudougou	27
Figure 16: Délimitation du bassin versant.....	28
Figure 17: Courbe hypsométrique du barrage de Doulou	28
Figure 18: Aperçu de la prise en amont	34
Figure 19: Evacuateur muni d'un bassin à ressaut.....	45
Figure 20: Courbe d'exploitation de la retenue	50

INTRODUCTION

Le Burkina Faso est un pays très vulnérable en matière d'eau, compte tenu de sa position géographique ainsi que de son niveau de développement. Des efforts ont été consentis par l'état à partir des années 1970 par la construction de retenues d'eau. Mais le problème de la mobilisation des eaux de surface demeure. Une estimation du rapport entre les quantités d'eau utilisable et les besoins du pays a été établie dans l'« Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion (2001) ». Ce rapport montre que le pays se trouve dans un état permanent de stress hydrique, avec plus de 47% de ces barrages sont dégradés.

Pour résoudre ces problèmes, l'état Burkinabé a entrepris un vaste programme de mobilisation et de valorisation de la ressource en eau par la construction et la réhabilitation de barrages ainsi que l'aménagement des périmètres irrigués.

Quatre (04) barrages de la province du Boulkiemdé bénéficient de ce programme, à travers le Projet de Réhabilitation de Barrages et d'Aménagements de périmètres irrigués et bas-fond dans les provinces du Boulkiemdé, du Ziro, du Sanguié et des Balés (PRBA) ; dans le cadre de la coopération entre le Burkina Faso et la Banque Ouest Africaine de développement (BOAD).

L'un de ces barrages nous a été confié pour étude. Il s'agit du barrage de Doulou qui est la principale ressource en eau de sa localité. Le présent mémoire dont le thème s'intitule : **« Etudes techniques détaillées de la réhabilitation du barrage de Doulou, dans la province du Boulkiemdé, région du Centre-Ouest au Burkina Faso »** retrace l'ensemble des travaux que nous avons mené de décembre 2016 à juin 2017. L'objectif étant de proposer des solutions techniques pour la réhabilitation du barrage.

Les missions qui nous sont assignées, se feront sous les directives de la direction technique du Cabinet d'Etude Technique et de Recherche en Ingénierie (CETRI).

OBJECTIFS DU TRAVAIL

I. OBJECTIF GENERAL

L'objectif général de la présente étude est la réalisation d'une étude d'avant-projet détaillé (APD), de la réhabilitation du barrage de Doulou dans la province du Boulkiemdé. Nous tenterons donc de proposer des solutions techniques de réhabilitation, après le diagnostic des ouvrages du barrage.

II. OBJECTIFS SPECIFIQUES

Les objectifs spécifiques qui en découlent sont résumés dans points suivants :

- ❖ Mener une étude diagnostique du barrage : Identifier et décrire les dégradations et anomalies constatées sur l'ouvrage,
- ❖ Faire des études de base : Traiter et analyser les données topographiques, géotechniques et socio-économiques ; Faire des études hydrologique et hydraulique pour des vérifications ;
- ❖ Proposer des solutions de réhabilitations économiques et durables ;
- ❖ Evaluer le coût des travaux de réhabilitation.

MATERIELS ET METHODES

La méthodologie et les matériels utilisés diffèrent les uns des autres en fonctions des objectifs à atteindre. Pour mieux répondre aux exigences du travail scientifique et avoir des éléments de réponses fiables mentionnées dans les termes de référence (TDR), il a été adopté une démarche scientifique.

I. METHODOLOGIE

I.1 Etape 1 : Etudes diagnostiques

La démarche adoptée pour cette phase est la suivante :

- ❖ Une collecte des documents concernant le barrage : recherche bibliographique ;
- ❖ Une visite sur le site du projet afin d'identifier et décrire les dégradations et anomalies constatées sur les ouvrages du barrage, ainsi que les causes et conséquences.

I.2 Etape 2 : Etudes de base

Ce volet s'appuie sur :

- ❖ Une collecte et un traitement des données climatiques de la zone de projet, qui nous permettra de donner les caractéristiques climatiques de ladite zone;
- ❖ L'analyse des données topographiques,

Cela nous permettra de reconstituer la courbe Hauteur-Volume du barrage. Le volume partiel est obtenu par cette relation du cours de barrage Licence 2&3. (GUEYE, 2012).

$$V_{n+1} = \frac{(S_n + S_{n+1}) * h}{2}$$

Avec :

V_{n+1} : volume du bassin versant en m^3

S_n : surface du plan d'eau correspondant à la courbe n (ha)

S_{n+1} : surface du plan d'eau correspondant à la courbe n+1 (ha)

h : dénivelée entre deux courbes de niveau n et n+1 (m)

- ❖ L'analyse des résultats géotechniques, qui nous permettra d'approfondir le diagnostic par la détermination des causes de nature géotechnique sur les pathologies, et de connaître les zones d'emprunts ;

❖ L'étude hydrologique

Cette étude se fait sur la base des données climatiques qui nous permettra de déterminer la crue de projet.

La crue est caractérisée par un débit de fréquence rare exprimant une augmentation instantanée de volume d'eau qui transite par le cours d'eau. Pour des raisons de sécurité la crue de projet adoptée est celle que l'ouvrage doit être capable d'évacuer sans dommages.

Le bassin versant faisant l'objet d'étude est un bassin versant non jaugé car ne dispose pas de dispositif de mesure de débit. Par conséquent pour l'estimation des crues et des apports il sera adopté les méthodes empiriques, CIEH, ORSTOM, et de Gradex.

- Méthode ORSTOM

Cette méthode résolument déterministe est fondée sur un modèle global pluie-débit fondée sur la théorie de l'hydrogramme unitaire. On considère que le bassin versant constitue une entité homogène, tant en ce qui concerne les apports pluviométriques que ses caractéristiques physiques.

Pour ce modèle, le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation suivante :

$$Q_{r10} = mA \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{T_{b10}}$$

Avec :

S : la superficie du bassin versant ; P_{10} : pluie journalière maximale décennale (mm)

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal ; T_b : temps de base de la crue décennale (mn)

A : coefficient d'abattement (%)

- Méthode CIEH

La formulation retenue pour retrouver l'expression de la crue décennale, est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

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

C'est une méthode statistique proposée dans les études récente de CIEH par Puech et Chabi-Gonni en 1983 est basée sur 162 bassins versants dont l'origine vient essentiellement du recueil de Dubreuil (1972) sur les bassins expérimentaux. Elle tient compte des caractéristiques du bassin, de son emplacement et du régime climatique de la zone.

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

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

Cette méthode est recommandée par les chercheurs pour le passage du débit décennal au débit projet sous une forme linéaire.

Le barrage de Doulou est considéré comme un petit barrage au regard de sa taille (**C.N.B.B et A.I.T.B, 2015**). De ce fait une période de retour de 100 ans est retenue pour le calcul du débit de projet. La crue centennale sera retenue pour la vérification hydraulique du déversoir.

Les détails des calculs sont reportés en notes de calcul (voir [ANNEXE 1](#)). L'expression générale de la méthode du Gradex se présente sous la forme :

$$Q_{100} = C_{100} * Q_{10} \quad \text{avec}$$

$$C_{100} = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{\left(\frac{T_b}{24}\right)^{0,12}}{Kr_{10}}$$

Avec

Q_{100} : crue centennale (m^3/s) ;

Q_{10} : crue décennale (m^3/s)

P_{10} : pluie journalière maximale décennale (mm) ; P_{100} : pluie journalière maximale de la période de retour de 100 ans

T_b : temps de base de la crue

décennale (mn)

Kr_{10} : coefficient de ruissellement décennal

- ❖ La synthèse des études socio-économiques faisant ressortir les impacts du projet.

I.1 Etape 3 : Vérification des ouvrages et propositions de réhabilitation

Cette partie comporte :

- ❖ La vérification

Elle consiste à faire le dimensionnement des ouvrages du barrage pour voir si elles sont conformes avec les dimensions réelles observées sur le terrain.

- La largeur en crête de la digue

La vérification se fera par ces formules empiriques :

Formule de **KNAPPEN**

$$l_c = 1,65\sqrt{H}$$

Formule de **PREECE**

$$l_c = 1,1\sqrt[3]{H} + 1$$

- La lame d'eau au-dessus du déversoir

La formule du seuil en régime noyé est utilisée pour déterminer la lame d'eau au-dessus du déversoir.

$$Q = m \times L \times (2 \times g)^{1/2} \times h^{3/2}$$

Connaissant les autres paramètres sauf la hauteur, son expression en fonction des autres

paramètres donne :
$$h = \left(\frac{Q}{m \times L \times (2 \times g)^{1/2}} \right)^{2/3} .$$

- La revanche libre

Une approche empirique peut être adoptée pour déterminer cette revanche.

Formule de Molitor

Pour $f < 30$ km, la hauteur des vagues $h = 0.76 + 0.032\sqrt{U * f} - 0.26 * \sqrt[4]{f}$

Avec fetch (f) = 1,52 km, U = vitesse du vent (km/h)

La vitesse maximale du vent à la station de Ouagadougou Aéroport est de 2,7 m/s soit environ 10 km/h (la station synoptique la plus proche).

Formule de Gaillard

$$V = 1,5 + 2 * h$$

$$R = 0,754 * H + \frac{V^2}{2g}$$

Avec :

V : vitesse des vagues (m/s)

H : Hauteur des vagues (m)

- La crue de rupture du barrage actuel

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

$$Q_{rupt} = 2 * l * (a + 0,20)^{1,5} + 0,15 * L$$

Avec :

L : longueur de la digue sans déversoir = 678,05 m ; l : longueur du déversoir = 60 m

a : revanche totale = 1,75 m

- Apports liquides

On détermine successivement le coefficient d'écoulement K_e et le volume correspondant V_e est donné par les formules suivantes :

$$K_e = \frac{Ecoulement}{Quantile} \quad \text{Et} \quad V_e = K_e * Quantile * S_{BV}$$

- Dépôts solides

Il existe tout un ensemble de formules permettant d'évaluer de manière plus ou moins fiable l'importance des apports solides. Celle utilisée est celle de (KARAMBIRI, 1998), du fait que son élaboration a été faite en grande partie sur des recherches faites sur les retenues du Burkina Faso.

$$D = 137 * \left(\frac{P}{700} \right)^{-2,02} * S^{-0,05} * [0,25 + 1,13 * (h + r)]^{1,15} ; \quad V_s = D * S * n$$

Avec :

H : paramètre anthropique, pris ceci égale à 0,55 (bassin versant comportant des petites villes et des villages moyens) ; R : paramètre morphologique, pris égale à 0,55 (relief moyen)

P : la pluviométrie moyenne annuelle (mm) ; S : la superficie du bassin versant (km²)

D : la dégradation spécifique annuelle (m³/km²/an) ; V_s : Volume de dépôts solides (m³/an)

n : la durée de vie de l'ouvrage

- Evaporation

A partir des valeurs d'évaporation d'un bac, il est possible d'établir une corrélation avec les valeurs d'évaporation d'un lac (COMPARORE, 1996). L'équation ci-dessous permet de la calculer.

$$E_{lac} = 30 + 1,664 * (E / 30)_{bac}^{0,602}$$

- ❖ Le choix du type de réhabilitation pour la protection et la durabilité des ouvrages du barrage.

- Seuil déversant du déversoir

Compte tenu des changements climatiques, la formule du seuil à régime dénoyé est utilisée

$$Q = m \times L \times (2 \times g)^{1/2} \times h^{3/2}$$

En se fixant la hauteur de la lame d'eau, la longueur sera déterminée par cette expression :

$$L = \frac{Q}{m \times (2 \times g)^{1/2} \times h^{3/2}}$$

- Etude de stabilité du déversoir

Pour le poids propre du déversoir, nous avons décomposé sa géométrie en élément simple (rectangle, triangle) et avec un poids volumique du béton de 24 kN/m³, déterminer les poids élémentaires par la formule $W_i = y_i \times S_i$

Le barrage étant soumis à une lame d'eau déversante de hauteur h en situation de PHE, nous aurons une poussée hydrostatique à l'amont donnée par : $P_{hydro} = \frac{1}{2} y_w H(H + 2h)$

Pour le diagramme des sous pressions, nous avons tenu compte de l'effet de la parafouille placée à l'amont en prenant $\lambda = 2/3$, soit $U_A = y_w \left[h + \frac{2}{3} \times (H - h) \right]$

La poussée des sédiments est donnée par :

$$P_{sédiments} = \frac{1}{2} y_i h^2 \tan^2 \left(\frac{\Pi}{4} - \frac{\Phi}{2} \right) \text{ kN / ml}$$

La stabilité au glissement

Vérifier la stabilité au glissement, revient à comparer la force tangentielle de glissement admissible sous le mur avec la composante tangentielle réellement appliquée. Il y a stabilité si :

$$F_G = \frac{\sum(W - u) \tan \phi}{\sum(P)} \geq 1$$

La stabilité au renversement

L'étude de stabilité au renversement consiste à calculer par rapport au point B, les moments des forces motrices et forces résistantes. On écrit le rapport des moments stabilisants sur des moments renversants, considéré comme coefficient de sécurité au renversement. Il y a stabilité au renversement si le coefficient de renversement $F_R > 1,5$.

$$\text{Le coefficient de renversement } F_R = \left| \frac{M_S}{M_r} \right|$$

L'excentricité e du point d'application de la résultante des forces appliquées à l'ouvrage par rapport au centre de gravité G de la surface de la base S est :

$$\text{La distance par rapport au point B } X = \frac{\sum Mr - Ms}{\sum F_v}$$

$$\text{Excentricité } e = \overline{OB} - X, \text{ la règle du tiers centrale } \frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6}$$

Stabilité au poinçonnement

Les contraintes doivent être positives mais inférieure à la contrainte du sol (σ_A et σ_B positives mais $< \sigma_{sol}$).

Le point C agit au centre de gravité du seuil mais à la base du seuil, il agit à $b/2$.

$$\sigma_A = \frac{\sum F_v}{b} + \frac{6 \times \sum \text{Moments forces/G}}{b^2} < \sigma_{sol}$$

$$\sigma_B = \frac{\sum F_v}{b} - \frac{6 \times \sum \text{Moments forces/G}}{b^2} < \sigma_{sol}$$

On prendra $\sigma_{sol} = 0,15 \text{ Mpa}$ soit 150 kPa .

- La stabilité du mur bayer

La stabilité au glissement

Pour éviter un glissement il faut que le coefficient de sécurité au glissement $F_G > 1$:

$$F_G = \frac{\sum(W - u) \tan \phi}{\sum(P)} \geq 1,5$$

F_G : coefficient de sécurité au glissement dans le cas où la cohésion est non nulle

La stabilité au renversement

L'étude de stabilité au renversement consiste à calculer par rapport au point B, les moments des forces motrices et forces résistantes. On écrit le rapport des moments stabilisant sur des moments renversant, considéré comme coefficient de sécurité au renversement. Il y a stabilité au renversement si le coefficient de renversement $F_R > 1,5$.

Le coefficient de renversement $F_R = \left| \frac{M_s}{M_r} \right|$

Stabilité au poinçonnement

La condition au non poinçonnement est :

$$q_{ref} \leq q_{adm}$$
$$q_{ref} = 0,76 \leq q_{adm} (2,3 \text{ bar})$$

Stabilité au non soulèvement

La condition de non soulèvement est : $-\frac{B}{6} \leq e \leq \frac{B}{6}$

II. MATERIELS

Pour mener à bien notre étude, des matériels ont été utilisés en fonction des objectifs à atteindre. Pour :

- **L'étude diagnostique** : un appareil photo a été utilisé afin de mieux visualisé certaines pathologies qui n'aurons pas été perçu sur le terrain immédiatement. Le ruban a permis de prendre des mesures sur le terrain. Un bloc note et un stylo pour noter les pathologies observées. Les coordonnées géographiques de la digue sur le terrain ont été relevées à l'aide d'un GPS.
- **La délimitation du bassin versant** : les images satellitaires prises sur Google Earth ont permis de mener une étude sommaire sur la présentation du barrage de Doulou. Après avoir transmis ces données sur Global Mapper V.16, il a été ressortit la délimitation du bassin versant et le réseau hydrographique.
- **L'élaboration des cartes** : le logiciel Arcgis a facilité l'élaboration de la carte de situation de Doulou.
- **Traitement statistiques des données** : les données pluviométriques ont été traitées sur Excel puis vérifiées avec le logiciel Hyfran.
- **Les calculs et la rédaction** : à travers Excel il a été créé des programmes pour faciliter les calculs et la rédaction s'est faite sur Word.

CHAPITRE 1 : CARATERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

I.1 Localisation

CARTE DE SITUATION DU VILLAGE DE DOULOU

Légende

- DOULOU
- Routes
- Département de Koudougou

Source: Données Sig
Date: 15 mars 2017
Auteur: BERE Carine Claudette

Le barrage est localisé grâce aux coordonnées géographiques consignées dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Coordonnées géographiques du village de Doulou

Coordonnées géographiques	
Longitude	Latitude
02°16'06'' Ouest	12°19'46'' Nord

I.2 Accès au site

Selon l'itinéraire Ouaga-Koudougou-Doulou, l'accès au village se fait à partir de la Route Nationale RN1 jusqu'au carrefour de Koudougou sur une distance de 60 km, puis la Route Nationale RN14, sur une distance de 40 km jusqu'à Koudougou. De Koudougou, en empruntant la Route Départementale RD42 menant à Kindi, le parcours est de 10 km. En bifurquant à gauche le village se trouve à 3 km de là. La distance totale entre Ouagadougou et Doulou est donc de 113 km.

II. MILIEU PHYSIQUE (CLIMAT, VEGETATION, SOL, RELIEF)

II.1 Le climat et la végétation

La zone d'étude appartient à la zone subtropicale caractérisée par des précipitations variant entre 600 à 900 mm. Elle est soumise à une alternance de deux saisons climatiques **(D.R.E.D/C.O, 2003)**:

Une longue saison sèche de neuf mois allant généralement d'octobre en mai, caractérisé par des vents secs et frais (octobre à février) et des vents secs et chauds (mars à mai).

Une courte saison pluvieuse allant de juin à septembre, caractérisée par les vents de la mousson (vents frais et pluvieux).

Cette variation pluviométrique est observée sur la figure 2 en fonction des mois.

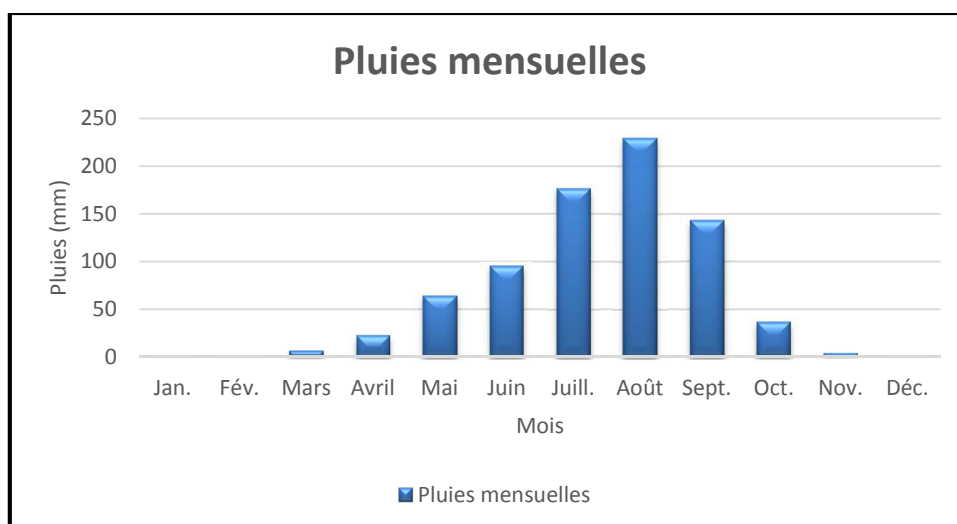


Figure 2: Histogramme de pluies

Les valeurs moyennes des différents paramètres climatologiques à l'échelle mensuelle ont été déterminées à partir des données météorologiques de la station synoptique de Ouagadougou. Les résultats de l'analyse figurent dans le tableau 2 :

Tableau 2: Paramètres climatiques à Ouagadougou

Mois	Vents (m/s)	Insolation (h)	T min (°c)	T max (°c)	HU moyen (%)	Evapo. bac (mm)
Janvier	2,22	9,25	17,33	32,51	26,25	289,32
Février	2,23	9,26	19,64	35,47	22,58	313,58
Mars	2,24	8,54	23,77	38,6	23,65	383,48
Avril	2,38	8,38	27,17	40,18	35	368,92
Mai	2,71	8,86	27,27	39,05	48,15	357,25
Juin	2,72	8,77	25,28	36,11	59,92	289,93
Juillet	2,32	7,72	23,47	33,16	70,68	225,55
Aout	1,92	6,98	22,75	31,62	76,78	171,99
Septembre	1,77	7,78	23,11	33,3	72,48	179,44
Octobre	1,79	8,78	23,82	36,49	56,23	235,97
Novembre	1,62	9,51	20,58	36,43	35,73	264,7
Décembre	2,02	9,22	18,01	33,86	29,63	274,08

La végétation naturelle est une savane arborescente arbustive comprenant du karité, du néré, du résinier et une strate herbacée.

II.2 Le relief et le sol

En dehors de la zone située entre Nandiala et Saria (villages voisins de Doulou) où se succèdent les falaises dont l'altitude atteint les 311 m, le relief de la région est peu accidenté avec une altitude moyenne de 280m.

Le site est constitué principalement de sols hydromorphes formé sur du matériau argileux sableux bigarré en association à des sols peu évolués hydromorphes sur du matériau gravillonnaire et à des sols ferrugineux tropicaux remaniés sur matériau argilo-sableux en profondeur.

Le sol a une texture variable : de limono-argileux le long du cours d'eau à sablo-argileux sur les berges. Il y'a la présence de zones notables à la surface desquelles se trouve de l'argile pure.

III. SITUATION DEMOGRAPHIQUE

III.1 La population

Lors du recensement administratif de 2004, le village de Doulou comptait 3869 habitants selon la préfecture de Koudougou. Cette population est répartit comme indiquée dans le tableau 3 suivant :

Tableau 3: Population de Doulou au recensement 2004

Répartition de la population		Population totale
Hommes	Femmes	3869
1687	2182	

Source : Préfecture de Koudougou

Avec un taux d'accroissement de 1,03. La population actuelle du village est estimée à environ 10000 habitants.

III.2 Mouvements migratoires

Les mouvements sont caractérisés par une émigration saisonnière. Ce phénomène concerne essentiellement les jeunes hommes à la recherche d'emploi pendant la période dite morte. Leurs villes de destination sont : Ouagadougou, Bobo-Dioulasso et Koudougou.

Il existe également une émigration temporaire de moindre importance qui concerne surtout les hommes âgés de 20 à 40 ans, dont la destination est la Côte-d'Ivoire ou il passe en moyenne 3 ans. Cela constitue une réduction de la main d'œuvre du village.

CHAPITRE 2 : ETUDE DIAGNOSTIQUE DU BARRAGE DE DOULOU

I. HISTORIQUE DU BARRAGE

La recherche documentaire sur le barrage de Doulou a été très difficile compte tenu de son ancienneté (35 ans). Selon la base de données de la Direction Générale des Infrastructures Hydraulique (DGIH), le barrage a été réalisé en 1982 sur financement du Secours Catholique/Corps de la Paix.

Les recherches au niveau de la bibliothèque du Secrétariat Permanent du Plan d'Action de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (SP PAGIRE) montrent qu'une étude de réfection a été menée en 1988 par l'ex Office National des Barrages et des Aménagements Hydro-agricoles (ex ONBAH). Cette réfection avait pour but de développer le secteur de l'agriculture associé à la pisciculture qui a abouti à une reconstruction de tout le barrage.

Selon les informations recueillies auprès des populations riveraines, le barrage a été réfectionné par la suite par une association paysanne avec l'appui du Programme Alimentaire Mondial (PAM) en 2000.

Le déversoir du barrage aurait cédé en 2011 à la suite de grandes averses. Les travaux de réhabilitation du barrage ont été réalisés par des italiens (amis du chef du village) en 2012-2013. Cette réhabilitation a conduit au déplacement du déversoir en rive droite.

N'ayant pas de données de base ni de fiche technique de barrage actuel, une expertise géotechnique a été menée pour permettre d'obtenir les caractéristiques actuelles du barrage représenté dans le tableau 4.

Tableau 4: Caractéristiques du barrage actuel

Caractéristiques du barrage actuel	
Type de l'ouvrage	Barrage homogène en terre
Côte de calage de la digue	280 m
Hauteur maximale de la digue	3,5 m
Longueur de la digue	738,05 m
Largeur en crête	3,5 m
Pente talus amont	2H/1V
Pente talus aval	1H/1V
déversoir	En rive droite fait en béton cyclopéen
Côte de calage du déversoir	278,25
Longueur du déversoir	60 m

II. ETATS ACTUELS DU BARRAGE DE DOULOU

Le barrage de Doulou constitue l'ouvrage hydraulique principal dominant dans la zone. Longtemps considéré comme pérenne, il a connu son tarissement ces dernières années à cause des déficits pluviométriques, mais aussi à cause de son ensablement et des piétinements d'animaux car il n'existe pas de piste d'accès à l'eau pour les bétails. (C.E.T.R.I et A.G.E.C.E.T, 2016).

II.1 La digue

La digue du barrage de Doulou est de type homogène de longueur totale 738,05 m et de largeur en crête variante entre 2 à 3,5m. Il n'existe pas de muret de crête et les talus du barrage sont envahis par une végétation arbustive moyennement dense (cf. fig. 3). La pente du talus amont est de 2H/1V et paraît beaucoup plus stable que celle du talus aval qui est assez raide avec une pente de 1H/1V (cf. fig. 4). Aucune infiltration sous la digue n'a été observée.

La protection du talus amont en perré sec, est moyennement dégradée avec des affaissements ponctuels à certains endroits. Le talus aval n'est pas protégé et comporte des griffes d'érosions très marquées à plusieurs endroits (cf. fig. 4). Des dépressions de la couche de couronnement sont observées par endroit le long de la digue. Le traitement de l'ancienne zone du déversoir est très artisanal et est caractérisée par des griffes d'érosions très marquées du talus aval.



Figure 3: Crête de la digue du barrage



Figure 4: Talus aval de la digue du barrage

II.2 Le déversoir radier

Le déversoir est constitué d'un seuil déversant de 60 m en bon état (cf. fig. 5). L'aval du voile est protégé par un béton cyclopéen. Les diguettes de protection sont dégradées. Les blocs chicane du bassin de dissipation sont dégradés. Les protections en gabions et en enrochement en aval du déversoir sont désorganisées.

Les murs bajoyers sont en bon état, mais leur niveau altimétrique est inférieur au niveau de la digue. On note des fortes érosions des blocs techniques du mur bajoyer en rive gauche (cf. fig. 6).



Figure 5: Aperçu du déversoir du barrage



Figure 6: Aperçu du mur bajoyer

II.4 L'état de la cuvette

La cuvette du barrage connaît un ensablement progressif du au piétinement des animaux et aux dépôts solides (cf. fig. 7). Il existe un périmètre de 1 ha sur les berges du la cuvette irrigué par siphonage (cf. fig. 8)



Figure 7: La cuvette du barrage



Figure 8: Accès à l'eau du barrage par la cuvette

II.5 L'ouvrage de prise

Le barrage dispose d'un ouvrage de prise avec bacs amont et aval. L'ouvrage comporte une conduite en fonte de 400 mm de diamètre muni d'une vanne-papillon en bon état à l'aval. Le bac aval est constitué d'une chambre de vannes, d'un muret impact et d'une chambre de réception.

Les bacs amont et aval de la prise sont en bon état dans l'ensemble, sauf que le bac aval est bouché et sans grille (cf. fig. 9). Le calage de la conduite de l'ouvrage de prise n'est pas bien fait. La cote de la génératrice supérieure de la conduite en amont (277,32 m) est plus basse que celle de l'aval (277,64 m).

On note la présence de griffes d'érosion au niveau des marches d'accès à la prise à l'aval (cf. fig. 10).



Figure 9: Bac aval



Figure 10: Accès à la prise d'eau

II.6 A l'aval du barrage

A l'aval du barrage il existe un périmètre irrigué de 15 ha aménagé. L'irrigation se fait de façon gravitaire et le réseau est en état de dégradation. Le canal primaire est détérioré en sa partie rectangulaire sur une longueur totale de 60 m (cf. figure 11), empêchant ainsi l'eau d'arriver aux parcelles en aval.



Figure 11: Aperçu du canal primaire

III. CAUSES ET CONSEQUENCES DE DEGRADATIONS RENCONTREES SUR LE BARRAGE

Les causes des pathologies relevées lors des visites peuvent trouver leurs origines dans plusieurs points (tableau 5). Les aléas climatiques sont aggravés par la variabilité climatique de nos jours avec la manifestation des pluies extrêmes. L'exploitation des données pluviométriques enregistrée en 2011 fait ressortir une pluie exceptionnelle de 70,50mm ayant conduit à la rupture du barrage en cette même année.

Tableau 5: Synthèse des causes et conséquences des dégradations

Partie de l'ouvrage		Cause des dégradations	Conséquences
Digue	Le non fermeture de la digue sur la côte TN	Contournement de l'eau	Erosion
	Les dépressions sur la couche de couronnement	Le vieillissement naturel du barrage	Favorise l'infiltration des eaux, la Fissuration de la digue avec fuite d'eau et possibilité de rupture de la digue par Renard
	Les griffes d'érosions du talus aval	Absence de protection et submersion de la digue	
	La dégradation du perré sur le talus amont	La pression de l'eau et la présence de termitière	
	Muret de crête	Absent	Les eaux qui tombent sur la crête de la digue ruissèlent directement sur le talus aval entraînant ainsi une érosion
Evacuateur de crue	Bassin de dissipation	Muret de blocage du tapis cassé	Départ des moellons de protection
	Chenal d'évacuation	Dispersion des moellons	Erosion régressive et dégradation du bassin de dissipation
Ouvrage de prise		Mauvais calage des génératrices	Ceci entraine un disfonctionnement et un déficit d'alimentation en eau du périmètre en aval.
Cuvette		Absence de protection de la cuvette	Ensablement total de la cuvette

CHAPITRE 3 : ETUDES DE BASE

I. SYNTHÈSE ET ANALYSE DES RESULTATS DES ETUDES TOPOGRAPHIQUES

I.1 Synthèse

Une campagne topographique a été entreprise par une équipe topographique complète de CETRI en 2016. Les investigations menées sont les suivantes :

- La mise en place de polygones de base ayant servi d'ossature pour les levés de détail ;
- Les levés de terrain naturel (TN), de l'axe et de la cuvette ont été effectués à partir de points de cette polygonale avec une équidistance de 50 m pour donner le maximum d'information tout en prenant les points de détails particuliers.
- Afin de lever tous les points du terrain avec un maillage serré et donner le maximum d'information, l'équipe a employé une méthode bathymétrique vue que la cuvette était pleine au moment des levés.
- D'un point de vue planimétrique, la polygonale de la cuvette a été rattachée à deux bornes. Ces deux bornes (B1 et B2) ont été implantées à gauche du déversoir du barrage et ont été considérées comme base pour le levé topographique.

Les coordonnées UTM et altitudes de ces bornes prises sur le GPS sont notés dans le tableau 6 :

Tableau 6: Coordonnées UTM (Zone 30) et altitudes des bornes implantées sur la digue

sommets	X	Y	Z
B.1	578408,000	1362961,000	280,000
B.2	578549,755	1363043,848	280,243

A l'issue du report des plans de masse de la cuvette y compris la digue existante, ont été élaborés à l'échelle 1/2000^{ème} faisant ressortir tous les éléments caractéristiques du terrain. Le traitement des données et l'élaboration des plans ont été effectuées à l'aide des logiciels TPL+ et COVADIS. Les plans ont été habillés à l'aide du logiciel de dessin AUTOCAD. Ces données ont donc permis d'établir le plan de masse (voir [ANNEXE 3](#)).

I.2 Analyse

Cette étude nous a permis de construire les différentes courbes qui suivent :

La courbe hauteur-surface est dressée sur la base de la planimétrie des différentes courbes de niveau de la cuvette (cf. fig. 12).

La courbe hauteur-volume dérive du cumul des volumes partiels compris entre deux courbes de niveau successives (cf. fig. 13).

Le volume total de la retenue est obtenu en faisant la somme des volumes partiels (tableau 7).

Tableau 7: Hauteur-surface-volume de la cuvette de Doulou

Côte (m)	Surface (ha)	Volume partielle (m3)	Volume cumulé
276,00	0	0	0
276,50	10	19186	19186
277,00	30	99901	119087
277,50	68	245555	364642
278,00	123	476991	841633
278,50	161	708971	1550604
279,00	215	941272	2491876
279,50	283	1245120	3736996
280,00	346	1572150	5309146

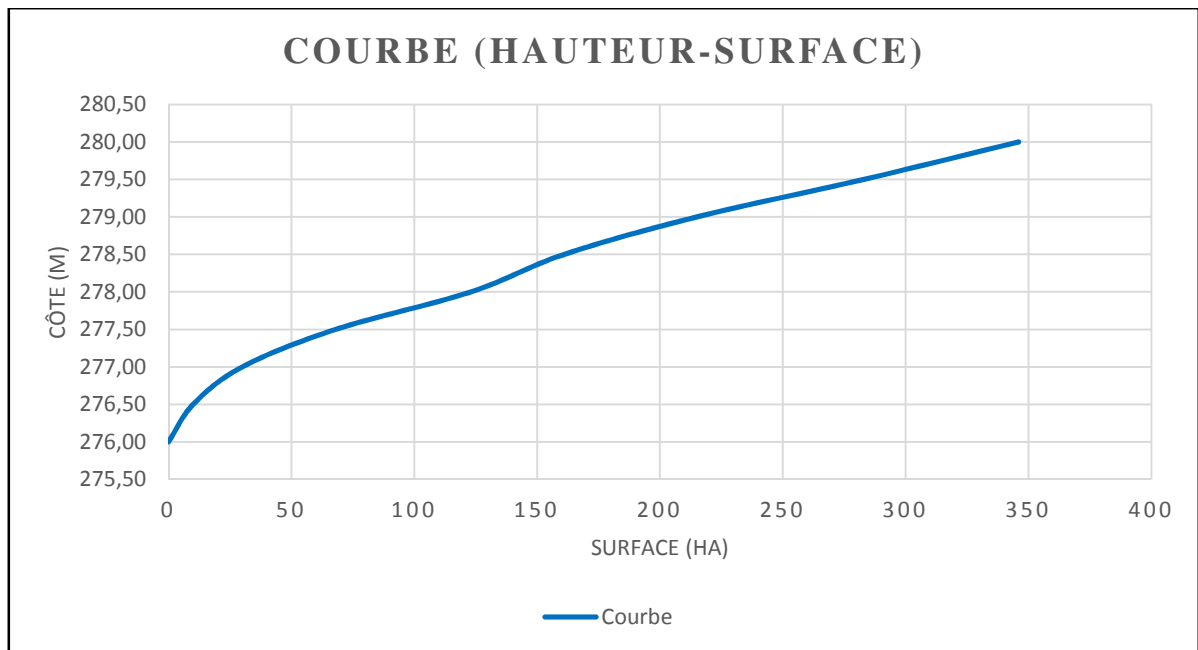


Figure 12: Courbe hauteur-surface

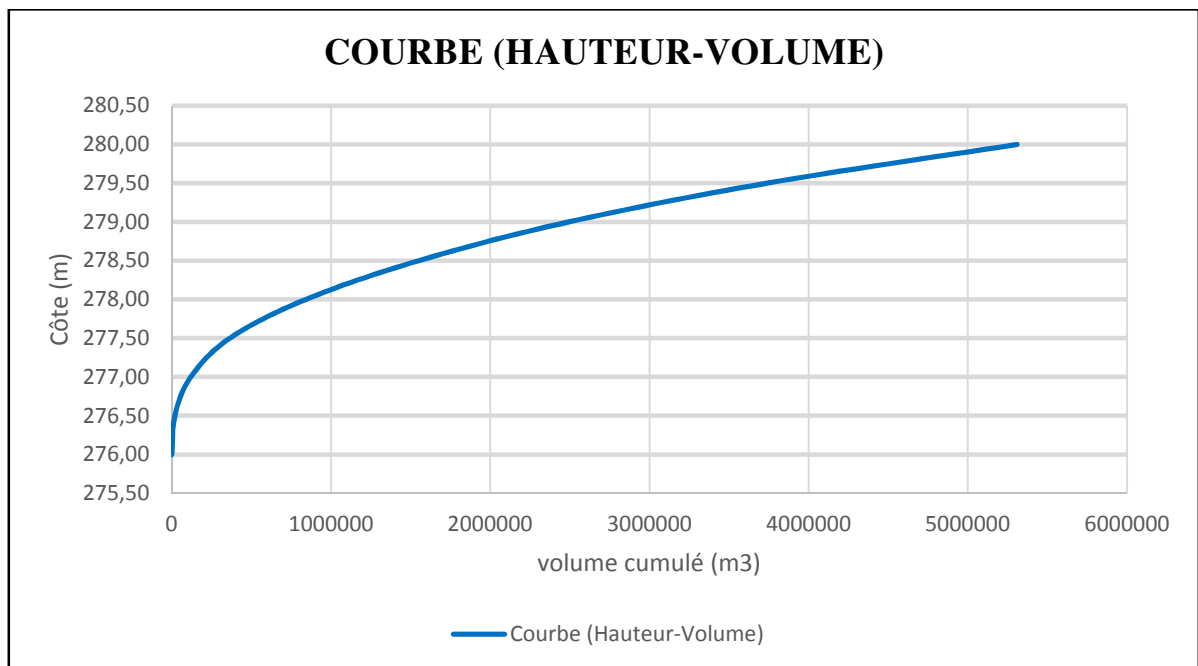


Figure 13: Courbe hauteur-volume

II. SYNTHÈSE DES ÉTUDES GÉOTECHNIQUES

La détermination des caractéristiques géotechniques des ouvrages du barrage existant et la recherche de zones d'emprunts et des carrières d'agrégats ont été confiées au Laboratoire des Sols et Bétons-Ingénieurs Conseils.

Au regard des résultats obtenus, l'expertise géotechnique a abouti à la conclusion que la digue du barrage actuel est en bon état et ne présente aucune forme de fuite d'eau en aval.

Les emprunts et carrières sont :

L'argile a été utilisée en cas de besoin de compactage est située juste à l'aval en rive gauche du barrage et en quantité suffisante. Des essais complets ont été faits sur ce matériau et confirment son aptitude à répondre aux sollicitations d'une réhabilitation.

Le matériau latéritique est en rive droite en amont du barrage et peut être utilisé sans justification, pour le couronnement en cas de besoin. C'est une ancienne zone ayant servi dans la construction du barrage actuel.

Le sable se trouve dans le lit de la rivière bien en aval à environ 1 km de la digue. La carrière de gravier et de moellons sont disponibles en grande quantité sur les flancs des collines à environ 5 km sur la route de Kindi.

III. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE SOCIO-ÉCONOMIQUE

Le PRBA a pour objectif global de contribuer à la croissance économique durable du Burkina Faso par la sécurisation et l'amélioration des productions et revenus des producteurs face aux changements climatiques.

Il a été retenu comme groupes-cibles des études agro-socio-économiques, les institutions et personnes-ressources suivantes : les services administratifs (Préfecture et Mairie de Koudougou), les services techniques décentralisés et déconcentrés de l'Etat en charge de l'Agriculture, de l'Hydraulique, des Ressources animales et halieutiques, de l'Environnement, les services de la Santé, les services de l'Éducation, les Organisations professionnelles agricoles (OPA) et organisations de la société civile (OSC) exerçant dans la localité de Doulou, et surtout les centres de décisions au niveau villageois (responsables coutumiers et religieux, Conseil Villageois de Développement (CVD)).

A l'issue des différentes rencontres les recommandations peuvent déjà être formulées autour d'une dizaine de paramètres (non limitatifs) jugés pertinents, à savoir, (i) la maîtrise des problèmes fonciers, (ii) la délimitation participative des pistes d'accès à l'eau par le bétail, (iii) la promotion de la petite irrigation au moyen de puits maraîchers, (iv) l'appui – conseils et l'appui – accompagnement des acteurs de l'irrigation et des activités connexes dans la mise en valeur des aménagements en aval du barrage, (v) l'appui – conseils et l'appui – accompagnement des acteurs de la pêche et des activités connexes dans la mise en valeur du potentiel halieutique du barrage, (vi) la préparation des conditions de participation communautaire à la gestion intégrée des ressources en eau et particulièrement à la protection des berges du barrage, (vii) le renforcement des capacités des bénéficiaires pour une gestion durable des infrastructures de soutien aux productions agro – sylvo – pastorales et halieutiques, (viii) la prise en compte des cultures pluviales dans les interventions du projet, (ix) la prise en compte des activités génératrices de revenus au profit des femmes, (x) l'appui à l'amélioration des conditions de vie et du mieux-être et, (xi) l'adoption du Programme HIMO pour les travaux sur les différents chantiers qui seront programmés dans le cadre du Projet.

IV. ETUDES HYDROLOGIQUES

Les données pluviométriques considérées sont celles de la station synoptique de Koudougou qui est la plus proche du site. Les relevés considérés s'étalent sur une période allant de 1980 à 2013. Les données pluviométriques sont reportées en annexe (voir [ANNEXE 2](#)).

III.1 Analyse des données pluviométriques

Les variables pluviométriques (pluies annuelles et pluies maximales journalières) recueillies ont été soumises à une analyse statistique afin de déterminer les quantiles pour différentes périodes de retour. Les données de la série pluviométrique annuelle ont été ajustées avec la Loi Normal de GAUSS (cf. fig. 14) et celles de la série de pluies maximales journalières ont été ajustées avec la loi de GUMBEL (cf. fig. 15).

Ces données ont ensuite été analysées à l'aide du logiciel HYFRAN pour une vérification. C'est un logiciel scientifique adapté pour l'analyse des données pluviométriques et hydrologiques.

Les résultats sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8: Pluviométrie annuelle pour différentes périodes de retour

	Période humide						Période sèche				
Période de retour (année)	1000	100	50	20	10	2	1000	100	50	20	10
Quantiles annuelles (mm)	1214	1105	1065	1006	954	770	325	435	475	534	586
Quantiles journalières (mm)	137	105	96	83	73	47	16	21	23	27	31

L'analyse pluviométrique montre que la pluviométrie annuelle est de 770 mm en années moyenne (période de retour de 2 ans)

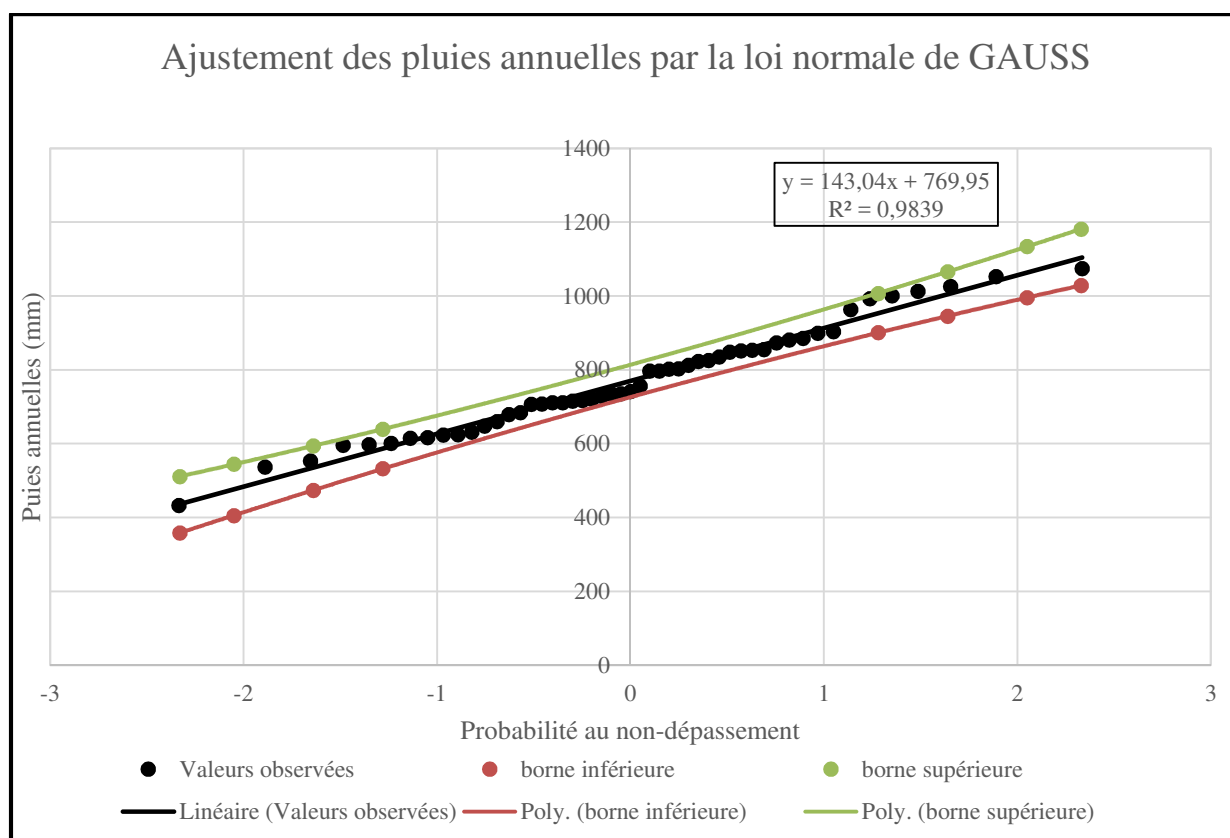


Figure 14: Analyse statistique des données pluviométriques annuelles de Koudougou

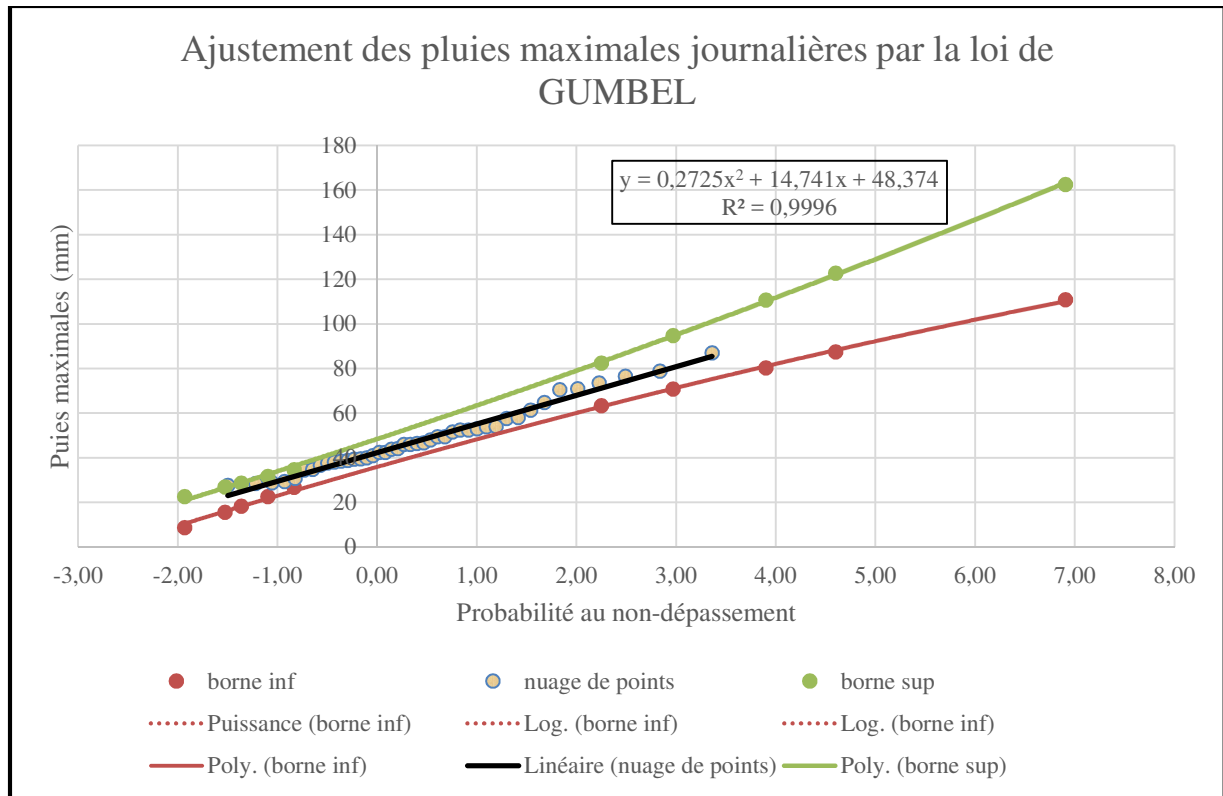


Figure 15: Analyse des données pluviométriques journalières de Koudougou

Nous pouvons dire que ces données sont représentatives et peuvent donc être utilisées.

III.2 Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant se définit comme étant la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons le délimiter (Dr. NIANG, 2013).

Les paramètres physiques tels que la superficie et le périmètre sont obtenus par modélisation du bassin versant sur le logiciel Global Mapper V.16.

Il a une superficie de **194,74 Km²** et un périmètre de **69,36 Km**.

Certaines caractéristiques du bassin versant à savoir : la forme du bassin, le réseau hydrographique et les courbes de niveau, sont visible dans la figure 16.

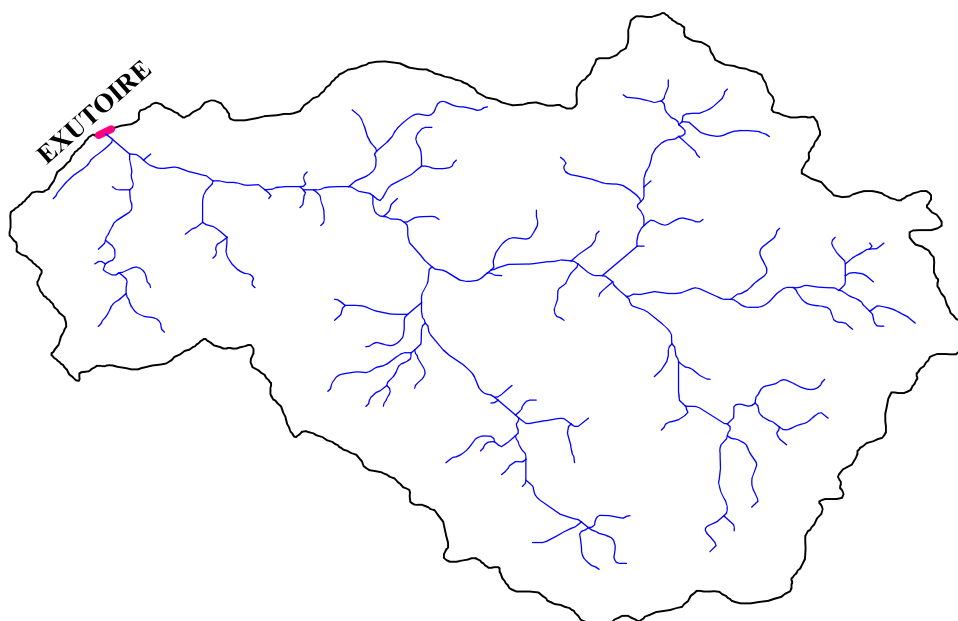


Figure 16: Délimitation du bassin versant

- **Courbe hypsométrique**

C'est la répartition de la superficie du bassin en fonction de l'altitude. Elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief (cf. fig. 17).

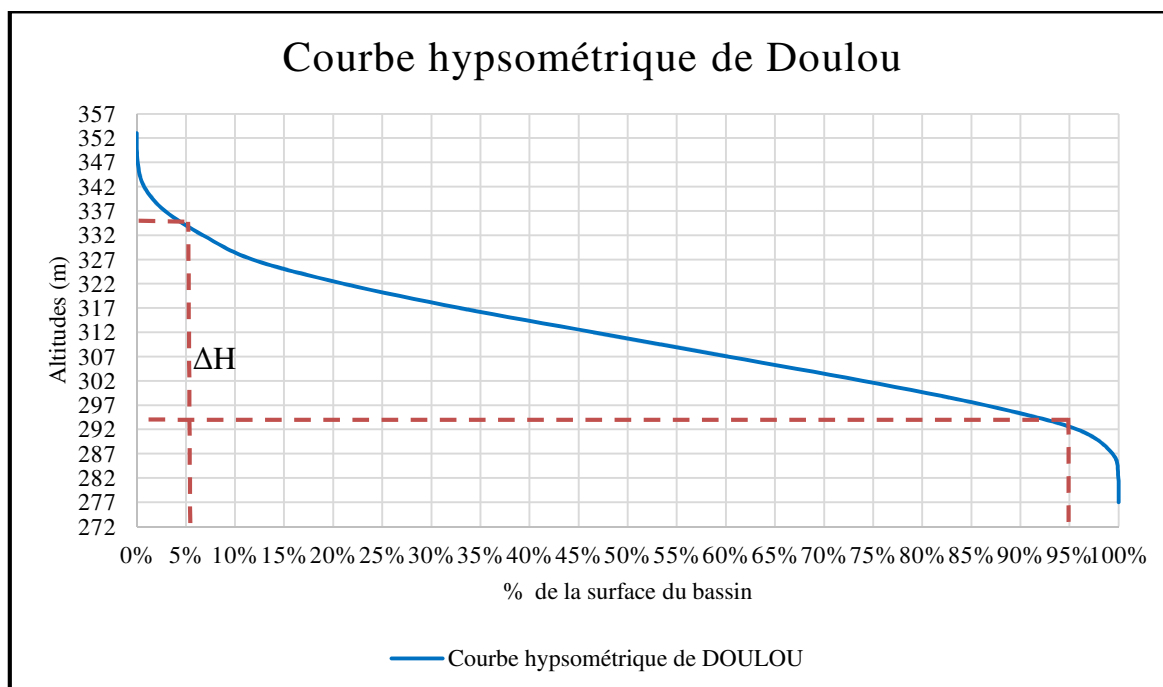


Figure 17: Courbe hypsométrique du barrage de Doulou

- **perméabilité du bassin versant**

C'est l'aptitude du terrain à l'infiltration. Ce terme essentiellement qualitatif est utilisé de préférence à celui de la perméabilité ou coefficient de perméabilité (FAO 54, 1996). Dans les régions où la pluviométrie annuelle est inférieure à 800 mm, l'hydrodynamique superficielle ne dépend pas des organisations pédologiques internes mais superficielles. Ainsi il sera utilisé une classification qui tient compte de l'état de la surface du sol.

Selon la classification de Rodier, le site est principalement constitué de sols ferrugineux lessivés plus ou moins gravillonnaires, les vertisols et les sols bruns sur roche basaltique. Le bassin versant de Doulou est donc un bassin versant de classe RI qui correspond à un bassin relativement imperméable avec un couvert végétal moyennement dense. Sur le plan géologique la pétrographie est constituée de migmatites et de granites indifférenciés.

Les différentes caractéristiques du bassin versant sont résumées dans le tableau 9.

Tableau 9: Caractéristiques du bassin versant

Paramètres Physiques du bassin versants			
Paramètres	Symboles	Valeurs	Unités
Surface	S	194,74	Km ²
Périmètre	P	69,36	Km
Côte à 5%	H5%	334,25	m
Côte à 95%	H95%	292,41	m
Dénivelée	D	41,84	m
Pluie annuelle	Pan	770,00	mm
Pluie décennale	P10	72,93	mm
Pluie centennale	P100	105,10	mm
Abattement	A	0,71	-
Compacité	Icomp	1,39	-
Longueur du rectangle	Lrect	27,63	Km
Largeur du rectangle	l rect	7,05	Km
Longueur du réseau	L	76,5	Km
P10 du bassin	Pm10	51,45	mm
Pente	Ig	1,53	m/Km
Pente transversale	It	9,5	
Pente corrigée	Igcorr	3,53	m/Km
Densité spécifique	Ds	41,84	-
Densité de drainage	Dd	0,59	-
Relief	R	Modéré	-
Perméabilité	RI (P3)		-
Hydrographie	Arête de poisson		-

III.3 Prédétermination de la crue du projet

Les paramètres de calcul ainsi que les résultats issus des calculs de débit sont consignés dans les tableaux 10 et 11.

Tableau 10: Paramètres de calcul du débit de crue

Indice global des pentes Ig.corr	Temps de base Tb	Temps de montée Tm10	Coefficient de ruissellement décennal Kr10
3,53	2318,15 mn	695,45 mn	16,4%

Tableau 11: Tableau de synthèse du débit de crue par les méthodes empiriques

Méthode	CIEH		ORSTOM	Gradex		
Débit en m ³ /s	Q1	Q2	Q	Q10	C	Q100
	51,01	46,52	31,68	51,01	5,74	228,30

Pour le cas de notre bassin versant qui est relativement imperméable, le Check Liste de FAO 54 recommande d'utiliser la formule de régression CIEH donnant directement Q10. Cette méthode donne deux valeurs de Q10. Le maximum a été utilisé dans le calcul de Q100 pour des raisons de sécurité face aux changements climatiques.

N'ayant pas de données de base de dimensionnement du barrage actuel, à partir des côtes de calage et du débit de projet calculé précédemment, une vérification sur les ouvrages du barrage sera effectuée. Cette vérification permettra de savoir si le déversoir actuel est capable d'évacuer la crue de projet, et si les conditions de dimensionnement sont respectées.

CHAPITRE 4 : VERIFICATION DES OUVRAGES EXISTANT**I. VERIFICATION DES DIMENSIONS DE LA DIGUE****Pente de talus**

La hauteur totale du barrage est de 3,5 m. Les talus sont choisis en adéquation avec quelques valeurs forfaitaires de dimensionnement des pentes des talus de digues de barrage afin d'assurer leurs stabilités. Les pentes sont choisies dans le tableau 12.

Tableau 12: Pentes 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	2,5	2,25
	Homogène à fort pourcentage d'argile	2,75	2,25
	A noyau et recharges grossières	2,25	2
10 à 15 m	Homogène, granulométrie étendu	2,75	2
	Homogène à fort pourcentage d'argile	3	2,5
	A noyau et recharges grossières	2,5	2,25

Source : (Durand, 1999)

Nous avons une digue homogène de hauteur 3,5 m. Il est donc recommandé une pente de talus amont et aval de 2H/1V. La pente amont sur le barrage est de 2H/1V, mais la pente du talus aval est de 1H/1V. La pente amont semble être stable alors que celle de l'amont est raide. Ce qui remet en cause la stabilité totale de la digue avec le temps.

Largeur en crête

La largeur en crête de la digue doit être suffisante pour autoriser la circulation d'engins pour la finition de l'ouvrage et ultérieurement pour son entretien. En pratique la largeur en crête (l_c) est supérieure à 3m. La vérification se fera par ces formules empiriques :

Formule de **KNAPPEN**

$$l_c = 1,65\sqrt{H}$$

$$l_c = 1,65\sqrt{3,5}$$

$$l_c = 3,09\text{ m}$$

Formule de **PREECE**

$$lc = 1,1\sqrt[3]{H} + 1$$

$$lc = 1,1\sqrt[3]{3,5} + 1$$

$$lc = 3,06 \text{ m}$$

Les mesures prise sur le déversoir nous ont donné une largeur variable entre 2 à 3,5m. Il faudra donc rendre uniforme la largeur en crête de la digue sur toute sa longueur. La largeur maintenue est 3,5 m.

II. VERIFICATION DE L'EVACUATEUR DE CRUE

Un évacuateur de crue est un organe de sécurité qui permet d'éviter le débordement non contrôlé d'une retenue et protège le barrage et les ouvrages annexes contre un déversement qui pourrait entraîner des dégâts dus à l'érosion et aux instabilités (**Dr. SCHLEISS, 2004**).

N'ayant pas le débit de base de dimensionnement du barrage actuel, il est difficile de connaître la lame d'eau au-dessus du déversoir. A partir du débit de projet obtenu par nos calculs, il sera déterminé la lame d'eau au-dessus du déversoir à partir des dimensions pris sur le terrain. Pour plus de sécurité vis-à-vis de l'incertitude des changements climatiques, le laminage ne sera pas pris en compte. Connaissant la longueur actuelle du déversoir qui est de 60 m, la formule du seuil en régime noyé est utilisée pour déterminer la lame d'eau au-dessus du déversoir.

Les paramètres introduits et le résultat sont consignés dans le tableau 13.

Tableau 13: Lame d'eau au-dessus du déversoir (h)

Débit projet Q (m ³ /s)	Coefficient de débit	Accélérateur de pesanteur g (m/s ²)	Longueur (m)	Charge h (m)
228,30	0,48	9,81	60	1,47

La lame d'eau au-dessus du déversoir est donc de **1,47 m** pour pouvoir évacuer le débit projet qui est de 228,30 m³/s. Cette lame d'eau est trop pour être évacuer sur une longueur de 60 m. La vitesse d'écoulement à l'aval serait donc très forte entraînant une érosion.

III. VERIFICATION DE LA REVANCHE LIBRE DU SEUIL

La revanche est la différence de côte entre la retenue et la crête du barrage. Cette revanche est dimensionnée à partir de critères sur la hauteur des vagues, tant par rapport au PEN que par rapport au PHE (C.F.B.R., 2013).

La revanche libre est la tranche comprise entre le PHE et la crête de la digue du barrage. Cette hauteur tient compte du risque de débordement. Le calcul de la revanche va donc considérer la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau et la projection de l'eau vers le haut du barrage due à la vitesse de propagation des vagues lorsque celles-ci rencontrent le barrage. Il existe plusieurs formules permettant sa détermination. Nous allons utiliser une approche empirique et une approche simplifiée à partir desquelles nous ferons un choix.

➤ Approche empirique

Dans cette approche, la formule de Molitor est utilisée pour déterminer la hauteur des vagues et la formule de Gaillard pour le calcul de la revanche. Pour une hauteur de vague $h = 0,54$ m, la revanche libre obtenue est $R = 0,54$ m.

➤ Approche simplifiée

Les chercheurs du comité des Grands Barrages proposent des recommandations sur l'estimation de la revanche en fonction du volume de la retenue et la hauteur de la digue (H) pour les petits barrages. Les valeurs proposées sont consignées dans le tableau 14.

Tableau 14: Estimation de la revanche

$H^2 \sqrt{V}$	5	30	100	700	1500
R min (m)	0,4	0,6	0,8	1,05	1,3

Source : Petits Barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi- Cemagref – Comité Français des grands barrages.

Avec : H la hauteur du barrage et V le volume de la retenue

Pour une hauteur de la digue de 3,5 m et un volume de la retenue de 1,196 Mm³, le coefficient $H^2 \sqrt{V} = 13,40$. En procédant par interpolation la revanche minimale est de 0,42 m. Il sera donc considéré la valeur de revanche libre : **R = 54 cm**

Avec la digue fixée à la côte 280 m, un déversoir à la côte 278,25 m avec une lame d'eau de 1,47 m, la revanche libre observée au-dessus du déversoir actuel est : $R = 0,28$ m.

Cette revanche libre est insuffisante par rapport à la revanche libre normale que devrait avoir le barrage selon nos calculs. Cela peut donc expliquer le fait que la digue a déjà été submergée laissant des zones d'affaissement facilement observable à l'œil nu.

IV. CRUE DE RUPTURE DU BARRAGE ACTUEL

La crue de rupture est donc égale à **428,47 m³/s**. Elle représente environ **47,32%** de la crue du projet **228,30 m³/s**, ce qui montre que la crue de projet ne peut pas rompre le déversoir actuel. Il ne peut donc qu'impacter les autres ouvrages du barrage.

V. VERIFICATION DE LA COTE DE CALAGE DE LA PRISE

Il existe un périmètre de 15 ha irrigable à l'aval du barrage. L'étude topographique montre que la génératrice supérieure de la conduite de la prise en amont est à la cote 277,32 m et celle à l'aval est de 277,64 m, ce qui entraîne un dysfonctionnement de la conduite. L'étude diagnostique atteste que la prise d'eau est dénoyée en saison sèche (cf. fig. 18).



Figure 18: Aperçu de la prise en amont

Il est nécessaire de vérifier si les côtes de calage de la prise permettent une bonne exploitation de la retenue.

IV.1 Etude de la retenue (apports et pertes)

➤ Evaluation des apports liquides (V_e)

Pour éviter un surdimensionnement inutile et coûteux, il est important de connaître les apports annuels qui vont permettre de dimensionner des réservoirs adaptés aux caractéristiques hydrologiques du bassin versant. Compte tenu de l'absence des données hydrométriques d'une part et de la situation géographique (zone tropicale sèche) d'autre part, du site d'étude, la méthode de Rodier est retenue pour la détermination des apports annuels du bassin versant de Doulou.

Il s'agit d'estimer en volumes les apports d'eau du bassin versant afin de s'assurer du remplissage de la retenue, méthode basée sur le principe de bassin type pour évaluer les écoulements annuels des bassins versants appartenant au sahel africain ou à la zone tropicale sèche (**Rodier, 1975**).

Selon la superficie, le sol, le relief et la densité de drainage, le bassin type correspondant au bassin versant de Doulou est celui de Kamboensé (Burkina Faso), dont les caractéristiques sont : $S=137 \text{ km}^2$; $Dd=0,51 \text{ km/km}^2$; $P_{med}=850 \text{ mm}$; $K_{med}=2,6\%$.

Le principe est le suivant :

On détermine d'abord, les fréquences au dépassement de Rodier à travers la courbe de distribution temporelle des précipitations annuelles dans la zone des isohyètes 750-1000 m (zone tropicale sèche).

Ensuite de ces fréquences cumulées, on évalue les hauteurs d'écoulement annuel correspondant, grâce à l'abaque de Rodier correspondant à notre bassin type.

Les résultats obtenus sont énumérés dans le tableau 15.

Tableau 15: Apports liquides

Apports liquides					
Période de retour (année)	Pluviométrie (mm)	Lame écoulée (mm)	Ke (%)	Superficie (Km ²)	Apports liquides (m ³)
Période Humide					
100 ans	1105	29	2,6%	194,74	5594880
50 ans	1065	28	2,6%	194,74	5392351
20 ans	1006	26	2,6%	194,74	5093619
10 ans	954	25	2,6%	194,74	4830331
Année moyenne	770	20	2,6%	194,74	3898695
Période sèche					
100 ans	435	11	2,6%	194,74	2202509
50 ans	475	12	2,6%	194,74	2405039
20 ans	534	14	2,6%	194,74	2703770
10 ans	586	15	2,6%	194,74	2967059

Le volume de la cuvette à la côte actuelle du déversoir (278,25 m) est estimé à **1 196 120 m³**. Les résultats du tableau ci-dessus attestent que les apports liquides du bassin parviennent au remplissage de la cuvette en période humides et en périodes sèches. Les informations recueillies auprès des services techniques et des populations riveraines confirment le remplissage de la cuvette en saison pluvieuse avec une pérennisation de l'eau dans la cuvette en saison sèche.

➤ **Evaluation des dépôts solides (V_s)**

L'eau de ruissellement entraine avec elle des matériaux solides qu'elle arrache le long de son parcours. Ces matériaux se déposent dès que la vitesse de l'eau devient inférieure à un certain seuil ; ainsi une retenue qui amène l'eau à réduire sa vitesse à une valeur pratiquement nulle provoque le dépôt de la presque totalité des matériaux solides transportés par les eaux de ruissellement (**COMPARORE, 1996**).

Il existe tout un ensemble de formules permettant d'évaluer de manière plus ou moins fiable l'importance des apports solides. Celle utilisée est celle de (**KARAMBIRI, 1998**), du fait que son élaboration a été faite en grande partie sur des recherches faites sur les retenues du Burkina Faso.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 16.

Tableau 16: Apports solides

Apports solides (Formule de Karambiri)							
S (km ²)	P (mm)	h	r	D (m ³ /km ² /an)	Vs (m ³ /an)	V retenue (m ³)	n (ans)
194,74	770	0,55	0,55	137,66	26807,64	1196120	45

Les apports solides du bassin versant contribuent à l'envasement de la cuvette du barrage. En faisant le rapport entre le volume de la retenue et le débit de dépôts solides, la durée d'envasement de la totalité du barrage est environ 45 ans supérieurs à 10 ans. Le projet est donc acceptable.

L'analyse des apports liquides et de la morphologie de la cuvette atteste que l'on pourrait augmenter la capacité du barrage afin d'accroître le potentiel irrigable.

➤ **Evaluation des pertes par évaporation et par infiltration du barrage**

- Infiltration

L'infiltration moyenne au Burkina Faso est comprise entre 1 et 5 mm (**GUEYE, 2012**). Compte tenu du fait que ce n'est pas un nouveau barrage et que l'infiltration diminue avec le temps, l'infiltration moyenne journalière sera prise égale à 1,5 mm/j. Dans le cadre donc de ce projet l'infiltration moyenne considérée est de **226,50 mm** pour la période d'exploitation du barrage.

- Evaporation

Les données d'évaporation utilisées sont celles de la station synoptique de Ouagadougou. A partir des valeurs d'évaporation d'un bac, il est possible d'établir une corrélation avec les valeurs d'évaporation d'un lac (**COMPARORE, 1996**).

L'évaporation en fonction des mois est consignée dans le tableau 17.

Tableau 17: Evaporation dans la retenue

Mois	Evaporation bac (mm)	Evaporation Lac (mm)
Janvier	289,32	195,34
Février	313,58	205,05
Mars	383,48	231,45
Avril	368,92	226,12
Mai	357,25	221,79
Juin	289,93	195,59
Juillet	225,55	168,15
Aout	171,99	142,83
Septembre	179,44	146,52
Octobre	235,97	172,79
Novembre	264,7	185,16
Décembre	274,08	189,08

L'évaporation moyenne considérée est de **106,08 mm** pour la période d'exploitation de la retenue. Les sols ne sont pas favorables à l'infiltration des eaux de surface dont l'évaporation accélérée par une forte chaleur.

La hauteur d'eau total perdue en saison sèche est de **1 232,58 mm** soit **1,23 m** qui correspond à **1 077 033 m³**.

IV.2 Evaluation des besoins en eau

➤ Besoin en eau agricole

A l'aval du barrage se trouve un périmètre de **15 ha** irrigable. Les investigations menées auprès des populations attestent que plus de la moitié de ce périmètre n'est plus utilisé. Le barrage étant à vocation hydro-agricole, il est donc nécessaire de réévaluer les besoins en eau de la population pour voir si la capacité de stockage du barrage actuel est suffisante pour couvrir ces besoins.

L'arrêt effectif des pluies se situe en fin octobre et à cette date on considère que le barrage est rempli. On suppose que les prélèvements d'eau dans la retenue commencent de façon sensible le 1^{er} novembre, date de début des cultures de contre saison (maraîchage).

Pour plus de sécurité, il sera considéré les besoins en eau de la plante la plus contraignante (Dr. Keïta, 2009) c'est-à-dire l'oignon, sur les 15 ha pour l'évaluation des besoins en eau.

Les résultats sont consignés dans le tableau 18.

Tableau 18: Evaluation des besoins en eau agricoles

Mois	novembre	décembre	janvier	février	mars
Durée	30,00	31,00	31,00	28,00	31,00
kc équivalent	0,63	0,95	1,05	0,98	0,85
ET0 (mm/j)	5,59	5,55	5,62	6,21	6,46
ETM (mm/j)	3,49	5,29	5,90	6,08	5,49
ETM (mm)	104,77	164,11	182,91	170,21	164,60
P (mm/j)	36,44	3,66	0,46	0,20	1,15
Pe(mm)	21,86	2,19	0,28	0,12	0,67
ETM-Pe (mm)	82,91	161,91	182,63	170,09	163,94
besoin de la plante (mm/j)	2,76	5,22	5,89	6,07	5,29
Besoins nets (m ³ /ha)	829,09	1619,15	1826,33	1700,94	1639,38
BESOINS NETS TOTAUX par campagne (m ³)=somme des besoins nets x Superficie (ha)				114 223	

➤ **Besoin en eau du pastoralisme**

Etant donné qu'il existe des forages pour l'abreuvement du bétail, il sera considéré la moitié des besoins en eau pastoraux. Les résultats sont dans le tableau 19.

Tableau 19: Evaluation des besoins en eau pastoraux

Espèce	Nombre	cons (l/tête/jour)	Cons (l/jour)	cons (m ³ /jour)
Gros bétail (Bovin et arsin)	849	30	25470	25,47
Petit bétail (Ovin et caprin)	3500	3	10500	10,5
Consommation totale				
Consommation totale par jour (m ³ /jour)			35 ,97	
Consommation totale par mois (m ³ /mois)			1 079,10	
Consommation totale pour les 5 mois considérés en (m ³)			5 395,5	

➤ **Besoin en eau à usage domestique**

Pour les besoins en eau de la population, on estime 1/4 de cette population utilisera directement l'eau du barrage. La tendance aujourd'hui étant l'utilisation de l'eau de forage pour la boisson et les besoins domestiques. Les besoins en eau domestiques considérés dans le tableau 20.

Tableau 20: Evaluation des besoins en eau domestique

1/4 de la population	Cons. (l/j/hbt)	Cons. (l/j)	Cons. (m ³ /j)	Cons. (m ³ /mois)	Cons. (m ³)
2500	20	50000	50	1500	7500

Le besoin en eau total est estimé à **127 119 m³**.

La somme des pertes et besoin en eau est estimée à **1 199 784 m³**.

La retenue doit donc disposer d'au moins **1 199 784 m³** à la fin des pluies pour satisfaire les besoins en eau de la population en saison sèche. Le volume d'eau disponible dans la retenue à la fin de la saison pluvieuse est de **1 196 120 m³** à la côte actuelle du déversoir ce qui est insuffisant pour pouvoir subvenir aux différents besoins.

Il serait donc indispensable de proposer un rehaussement de la côte du déversoir pour pouvoir augmenter la capacité de la retenue et satisfaire ces besoins. Le déversoir sera rehaussé de 50 cm. La nouvelle côte de calage du déversoir sera à **278,75 m** avec un volume de **2 021 240 m³** d'où un apport de **825 120 m³** soit **69%** du volume actuel non négligeable pour le potentiel hydro-agricole.

En considérant la nouvelle côte de calage, la revanche libre restante est :

$$R = \text{Côte digue} - (\text{côte du déversoir} + \text{lame d'eau})$$

$$R = 280 - (278,75 + 1,47)$$

$$R = - 0,22\text{cm}$$

Ce qui montre que la hauteur de la lame d'eau dépasse la hauteur de la digue de 22 cm avec ce rehaussement.

CHAPITRE 5 : PROPOSITION DE REHABILITATION

Tout barrage même en mauvais état, participe à la création de valeur ajoutée, et contribue au développement économique et social. On n'a pas trop le droit de voir disparaître un barrage par rapport à des populations qui en ont besoin pour mieux vivre au village et disposer de revenus décents. Rénover les barrages est donc une ardente obligation non seulement pour des motifs socio-économiques mais aussi pour des motifs hydrologiques (VORON, 2011).

Les travaux de réhabilitation visent à remettre en état les ouvrages dégradés et la confortation des ouvrages existants.

I. PROPOSITION DE REHABILITATION DE LA DIGUE DU BARRAGE

Compte tenu du fait que la lame d'eau au-dessus du déversoir dépasse la hauteur de la digue, elle sera rehaussée de 25 cm.

Zone de prolongement

Les levés topographiques montrent que la digue ne se referme pas sur le terrain naturel à la fin de la rive gauche. Un prolongement de la digue est donc indispensable afin de rattraper le terrain naturel à la même côte que la digue (280,25 m). Cela permettra d'éviter tout contournement des écoulements en périodes de crues. Les caractéristiques géométriques de la zone de prolongement sont énumérés dans le tableau 21.

Tableau 21: Caractéristiques géométrique de la zone de prolongement

Désignations	Valeurs
Côte de la crête de la digue	280,25 m
Largeur en crête	3,75 m
Pentes talus	2H/1V

Il sera mis en place un remblai argileux homogène sur le corps de la digue, une couche de couronnement en remblai latéritique de 20 cm sur la crête de la digue à ce niveau. Les talus amont et aval seront protégés par du perré sec constitué de moellons latéritiques de 25 cm. Les détails graphiques sont consignés dans le dossier plan (voir [ANNEXE 4](#)).

Travaux de réhabilitation sur la digue

Les travaux de réhabilitation de la digue sont basés essentiellement sur :

- ❖ Le désherbage et dessouche des arbustes sur les talus amont et aval
- ❖ Le taillage en redans des talus amont et aval suivi d'un apport de nouveaux matériaux argileux bien compactés avec une correction des pentes des talus (2H/1V)
- ❖ Le décapage de la digue de 10 cm pour recouvrir avec une couche d'argile bien compacté, tout prenant soin de la rehaussé de 25 cm tout le long de la digue
- ❖ Une couche de couronnement de 20 cm en matériaux latéritiques sera placée sur la crête de la digue
- ❖ La protection des talus amont et aval par de nouvelles couches de pose en matériaux latéritiques de 10 cm d'épaisseur, suivi d'un renforcement en enrochement de 40 cm
- ❖ La reprise de butée de pied et du drain aval à la base des talus amont et aval
- ❖ La construction d'un mur parapet de 50×50 cm sur la crête amont et aval de la digue

II. REHABILITATION DE L'EVACUATEUR DE CRUE

Etant donné que les dimensions hydrauliques du déversoir actuel ne permettent pas d'évacuer la crue de projet, les dimensions hydrauliques du seuil seront modifiées tout en prenant en compte le rehaussement du seuil. Ce qui conduit à un redimensionnement.

II.1 Seuil déversant

Compte tenu des changements climatiques, la formule du seuil à régime dénoyé est utilisée pour déterminé les nouveaux paramètres hydraulique du déversoir.

En se fixant la hauteur de la lame d'eau, la longueur correspondante est obtenue. Après une succession d'itération on a les résultats notés dans le tableau 22.

Tableau 22: Détermination de la charge h (m) et de la longueur L (m)

Q (m ³ /s)	m	g	h (m)	L (m)
228,30	0,48	9,81	0,5	304
			0,6	231
			0,7	183
			0,8	150
			0,85	137
			0,9	126
			0,95	116
			1	107

Il sera retenu une lame d'eau de **0,8 m** au-dessus du déversoir avec une longueur de **150 m**.

II.2 Choix du type de déversoir

Le choix du déversoir est fonction de :

- Sa capacité à vite évacuer le débit
- Sa facilité d'exécution par les entreprises du pays
- Sa capacité à être rehaussée
- Son faible coût de réalisation

Le déversoir du barrage de Doulou sera changé en déversoir poids de type Creager, avec un seuil adapté au système de rehaussement.

Il se composera de trois (03) parties :

- Un voile en béton armé
- Un bassin de dissipation
- Un chenal d'évacuation

Le voile de 2,25 m avec une longueur de 105 m sera coulé par **plots de 5 m** de longueur séparés par des joints souples de type **waterstop**. Il se composera d'un mur déversant supporté par deux murs parafoilles (bajoyers) qui lui servent d'ancrage.

II.3 Etude de la stabilité du déversoir

Il s'agit d'attribuer à l'ouvrage, des proportions telles que son poids s'oppose avec une marge de sécurité suffisante aux actions déstabilisatrices.

Le déversoir doit résister à la poussée de l'eau, être stable vis-à-vis- du renversement, du glissement sur la fondation, ainsi que du poinçonnement. Les actions mises en jeu sur une tranche latérale de **1 m** du déversoir fait intervenir, le poids propre du déversoir, la poussée hydrostatique amont, les sous-pressions, éventuellement la poussée des sédiments cumulés à l'amont et la poussée hydrostatique aval. Il sera traité ici le cas de charge au **PHE**. Les détails sont répertoriés en note de calcul (voir [ANNEXE 1](#)). Les vérifications de stabilité sont résumées dans le tableau 23.

Tableau 23: Vérification de la stabilité du déversoir

Stabilité au glissement	$F_G = \frac{\sum(W - u) \tan\phi}{\sum(P)} \geq 1$	$F_G = 1,34$
Stabilité au renversement	$F_R = \left \frac{Ms}{Mr} \right > 1,5$	$F_R = 1,73$
	$\frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6}$ avec $b/6 = 0,58$ m	$e = 0,15$ m
Stabilité au poinçonnement	$\sigma_A = \frac{\sum F_v}{b \times 1m} + \frac{6 \times \sum \text{Moments forces}/G}{b^2 \times 1m} < \sigma_{sol}$ $\sigma_B = \frac{\sum F_v}{b \times 1m} - \frac{6 \times \sum \text{Moments forces}/G}{b^2 \times 1m} < \sigma_{sol}$ avec $\sigma_{sol} = 150$ kPa	$\sigma_A = 42,7$ kPa $\sigma_B = 71,31$ kPa

En conclusion, la stabilité de l'ouvrage est assurée.

II.4 Dimensionnement du bassin de dissipation

Que ce soit à la traversée d'un déversoir ou au bas d'un coursier d'évacuateur, les eaux arrivent au bas de l'ouvrage avec une énergie cinétique importante qu'il s'agit de dissiper le plus possible à l'intérieur du liquide lui-même plutôt que le fond ou les rives de talweg ce qui entrainerait à la longue un déchaussement de l'ouvrage évacuateur. Dans ce but, on fait suivre les ouvrages évacuateurs d'un ouvrage dit de dissipation ou de tranquillisation.

Il existe plusieurs types dont le plus fréquemment employé est le bassin à ressaut (cf. fig. 19 ci-dessous). Le bassin à ressaut est un moyen très efficace pour réduire la vitesse de sortie à une valeur compatible avec la stabilité des berges à l'aval (**G.T.P.B.A.R, 1974**) . Ce bassin permettra d'amortir l'énergie de chute et son action érosive. Il devra pouvoir contenir le ressaut hydraulique à l'aval.

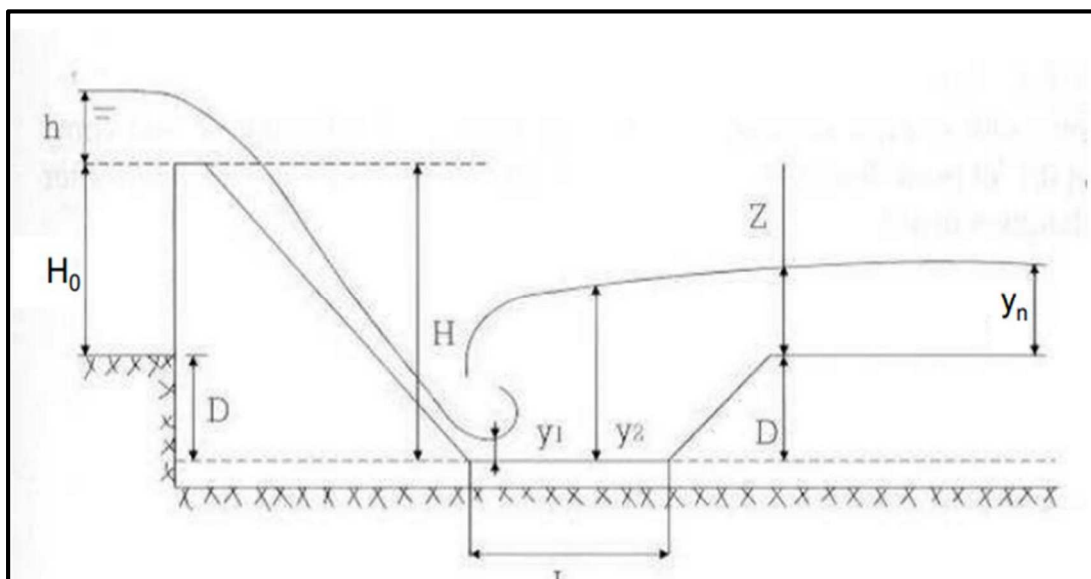


Figure 19: Evacuateur muni d'un bassin à ressaut

Les caractéristiques du bassin à ressaut sont les suivants (cf. tableau 24):

Tableau 24: Caractéristiques du bassin à ressaut

Désignations	Symboles	Valeurs
Lame d'eau au-dessus du déversoir	h (m)	0,80
Hauteur d'eau au PEN	H (m)	2,25
Enfoncement du bassin	D (m)	0,40
Débit de crue maximal	Q (m ³ /s)	228,30
Débit unitaire	q (m ³ /s/ml)	1,52
Vitesse d'eau au-dessus du seuil	V_0 (m/s)	1,90
Ligne d'eau	H_0 (m)	2,65
Hauteur de chute	Z (m)	1,78
Tirant d'eau avant ressaut	Y_1 (m)	0,15
Vitesse d'eau à l'entrée du bassin	V_1 (m/s)	7,54
Froude	Fr	6,26
Bassin retenue	Bassin de type II	
Tirant d'eau conjugué	Y_2 (m)	1,24
Longueur du bassin de dissipation	L	5,00
Hauteur de blocs de chute	h_1 (m)	0,15

Le détail des calculs pour déterminer les paramètres du bassin de dissipation sont reportés dans les notes de calcul (voir [ANNEXE 1](#)).

Pour $Fr > 4,5$ et $V_1 < 15 \text{ m/s}$, on adoptera un bassin de type II USBR et on retiendra une longueur de 5 m et une pente 2H/1V. Le bassin de dissipation sera construit en béton ordinaire d'une épaisseur de 0,25 m reposant sur une couche de sable filtrante de 0,1 m d'épaisseur, par des plots de 5 m de long et 150 m large séparés par des joints bitumineux. Il est traversé par une série de barbacanes en PVC de 50mm, à raison de quatre par plot, pour l'évacuation des sous pressions et se termine par une bêche aval également en béton ordinaire, de 0,4 m d'épaisseur, et de 1m de profondeur.

Le seuil terminal de 0,20 m de hauteur, termine le bassin de dissipation et sera en béton cyclopéen.

Les caractéristiques des blocs chicanes sont le tableau 25.

Tableau 25: Caractéristiques des blocs chicanes

Hauteur h_2 (m)	Epaisseur crête e (m)	Largeur en base l (m)	Espacement esp (m)	Pente
0,30	0,05	0,20	0,20	1V/1H

II.3 Dimensionnement des bajoyers

Un bajoyer est une jonction entre la digue et le déversoir. Les murs bajoyers sont des murs destinés à limiter latéralement un écoulement sur le parement du barrage ou à séparer un écoulement en plusieurs parties. Ils sont placés de part et d'autre du déversoir.

Un mur bajoyer est assimilable à un mur de soutènement en béton armé. La structure est étudiée sur une tranche linéaire de 1 m de longueur. Pour un mur en T sans contreforts, cela revient à calculer le voile, le patin et le talon (Dr. MESSAN, 2015).

Le pré dimensionnement du bajoyer a donné les caractéristiques suivantes (cf. tableau 26):

Tableau 26: Caractéristiques géométrique du bajoyer

a(m)	b(m)	b'(m)	c(m)	h(m)	H(m)	L(m)	q(kN/m ²)
0,8	0,3	0,7	1,5	0,5	4,25	4,5	10

Pour les détails graphiques (voir [ANNEXE 8](#)).

Comme hypothèse de calcul, il a été considéré un angle de frottement interne des matériaux de 33° , une charge d'exploitation de 10 KN/m^2 et un angle $\beta=0$.

L'ensemble des vérifications sont résumés dans le tableau 27.

Tableau 27: Vérification de stabilité du bajoyer

Vérifications du mur de soutènement	Conditions	Valeur	Appréciation
Stabilité au renversement	$\frac{MST}{MR} \geq 1,5$	4,16	Vérifiée
Stabilité au non soulèvement(m)	$e \leq \frac{B}{6} = 0,5$	0,06	Vérifiée
Stabilité au poinçonnement (bar)	$q_{ref} \leq q_{adm}$ Avec $q_{adm} = 2,3$	0,76	Vérifiée
stabilité au glissement	$\frac{N \tan \phi' s}{V} \geq 1,5$	1,97	Vérifiée
Stabilité totale du mur de soutènement avec les 04 conditions			Vérifiée

III. PROPOSITION DE REHABILITATION DES DIGUETTES DE PROTECTION

En rive gauche et droite du déversoir, les diguettes de protection seront réhabilitées. Elles seront construites en remblai argileux compacté d'une longueur de **20 m** avec une largeur en crête de **3 m** et les pentes de **2H/1V**. Elles seront de hauteur variable comprise entre **2 à 1 m** et situées aux extrémités des murs bajoyers.

La crête sera protégée par une couche de couronnement latéritique de **20 cm** d'épaisseur. Les talus seront protégés à l'amont par une couche de perré sec de **40 cm** d'épaisseur sur couche de pose de **10 cm** d'épaisseur. Les pieds des diguettes seront protégés par une butée et un drain triangulaire de **1,50 m** de largeur en gueule et **0,50 m** de profondeur remplis d'enrochement granitiques ou latéritiques.

IV. PROPOSITION DE REHABILITATION DE L'OUVRAGE DE PRISE

La côte amont de la prise sera gardée à **277,32 m**, par contre celle à l'aval devra être recalée en dessous de celui à l'amont.

Pour le détail de simulation (voir [ANNEXE 5](#)).

Les propositions de réhabilitations de l'ouvrage de prise se présentent comme suit :

- Excavation du remblai argileux au-dessus de l'ouvrage de prise en redans pour une dépose de la conduite de prise et démolition des bacs amont aval et des écrans anti renard s'ils existent.
- Nouvelles constructions des écrans anti renard en béton armé
- Nouvelle pose de la conduite sous le contrôle topographique en respectant les côtes amont et aval préconisées selon le mémoire technique de l'aménagement du périmètre irrigué;
- Compactage du remblai argileux au-dessus de la conduite en couche successives de **20 cm** d'épaisseur.
- Changement de la vanne papillon du bac aval
- Nouvelles constructions des bacs amont et aval munis des éléments nécessaires (grilles de protection, échelles etc.)

DISCUSSION ET ANALYSES

I. LA DIGUE DU BARRAGE

N'ayant pas les études de base de dimensionnement, nous pouvons considérer que la vérification des dimensions obtenue par mesure sur le terrain est bonne. La nouvelle côte de la digue **280,25 m** est raisonnable vue que les premières concessions du village commence à la côte **281,50 m**.

Le prolongement de la digue pour rattraper la côte du **TN** permettra d'éviter le contournement des eaux pouvant créer une érosion à ce niveau.

Le taillage en redans de la digue facilitera l'adhésion entre l'ancien et le nouveau matériau, mais à certain endroit ou la largeur en crête est inférieure à **2 m**, il faudra tout racler et reprendre à ce niveau.

II. L'EVACUATEUR DE CRUE

Le déversoir a déjà été reconstruit deux fois de suite en 34 ans. La première reconstruction avait pour but d'augmenter le volume d'eau de la retenue, et le dimensionnement avant donné une longueur de **80 m** avec un débit laminé de **140 m³/s**. La seconde était suite à une cassure du déversoir de **80 m**. Les différentes vérifications ont prouvé que le déversoir en place ne permet ni d'évacuer le débit centennale, ni de satisfaire les besoins en eau. Ne connaissant pas les différents paramètres qui ont été considérés dans le dimensionnement hydraulique de l'ouvrage, nous ne pouvons affirmer avec certitude qu'il a été sou dimensionné.

Les nouvelles dimensions retenues permettront d'évacuer le débit projet et d'éviter une submersion de la digue. Le changement du déversoir submersible à creager permettrait d'avoir un ouvrage stable, durable, avec possibilité de rehaussement futur sans nécessité de reconstruction. Construire un ouvrage de franchissement va encourager la population a emprunté la digue alors que ce n'est pas une digue roulante.

III. COTE DE CALAGE DE LA PRISE

Une simulation de l'exploitation de la retenue a été faite pour déterminer si la côte de calage de la prise actuelle est bonne (cf. fig. 18 ci-dessous).

A la fin de la simulation, on est à la côte **277,39 m**, alors que la génératrice amont de la prise est à la côte **277,32 m**. La côte de calage de la prise à l'amont est bonne, mais celle à l'aval devrait être basse par rapport à l'amont. Donc la simulation est bonne d'autant plus que la côte de la prise ne sera pas dénoyée.

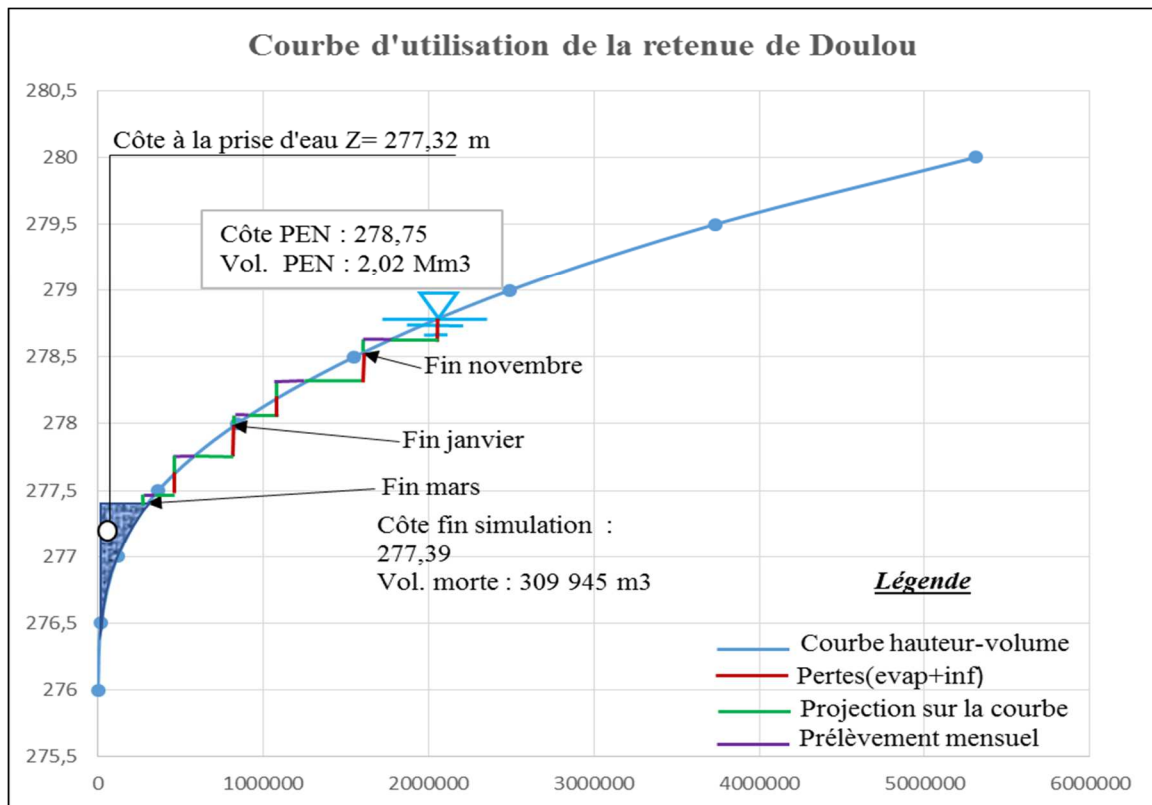


Figure 20: Courbe d'exploitation de la retenue

IV. DIFFICULTE DE MISE EN ŒUVRE

Pour la mise en œuvre de notre étude, la difficulté pourrai se trouvé dans la recherche de l'eau pour les travaux.

Il a été observé que le barrage s'assèche ces dernières années. L'eau de la cuvette du barrage pourra être sollicitée pour les travaux compte tenu de sa proximité. Mais en cas d'insuffisance des prospections seront nécessaires pour la recherche d'autres points de prélèvements (cours d'eau, barrage etc.) non loin du village de Doulou. Les eaux souterraines pourront également être sollicitées en cas de déficit des réserves de surface.

La difficulté serait d'amener la population à comprendre que pour la réhabilitation du barrage, on aura besoin de puiser dans leurs ressources en eau qui sont déjà insuffisantes pour les travaux.

V. MISE EN PLACE D'UN DISPOSITIF D'AUSCULTATION

Le dispositif d'auscultation sera constitué d'équipement permettant le suivi du niveau d'eau dans la retenue, ainsi que le comportement du barrage durant son exploitation. Les équipements d'auscultation permettent une bonne gestion du barrage.

Nous proposons la mise en place d'un ensemble d'échelles limnimétriques constituée de quatre (04) éléments de **1 m** de hauteur chacun placé dans la cuvette du barrage pour un suivi de la variation du plan d'eau. Une échelle limnimétrique sera en outre installée sur le mur bajoyer pour un suivi des déversements du barrage. Elle sera fixée sur le bajoyer en rive droite du déversoir de façon à ce qu'elle soit lisible à partir de la crête de la digue.

En plus des échelles limnimétriques il est préconisé **deux (02) bornes** d'observations pour les références topographiques dont une en rive gauche et l'autre en rive droite pour le suivi topographique.

VI. ESTIMATION DU COUT DE LA REHABILITATION

Le tableau faisant ressortir les calculs du devis estimatif et quantitatif se trouve (en [ANNEXE 9](#)). Il ressort que le coût de la mise en œuvre du déversoir est le plus élevé.

Le montant de notre projet s'élève à **395 505 149 FCFA**. Cette valeur est acceptable pour un projet de réhabilitation.

VII. IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET

La situation de référence et études agro-socio-économique du site de Doulou mené par CETRI atteste que les villageois ainsi que les différentes parties prenantes adhèrent pleinement au projet de réhabilitation du barrage. Les principaux impacts attendus du projet sur le secteur socio-économique dont les composantes abordées sont l'agriculture, l'élevage, la pêche, la pisciculture, la foresterie, le commerce.

Au stade actuel de la mission, les impacts attendus du Projet sont encore indicatifs. Ils seront analysés et quantifiés dans le cadre de l'élaboration du rapport d'APD afin de proposer les coûts des mesures d'accompagnement de la population. Certaines parties essentielles ont été reportées en ([ANNEXE 10](#)).

CONCLUSION

Le présent projet sur l'étude technique détaillée de la réhabilitation du barrage de Doulou s'inscrit dans le cadre du stage de fin d'étude. Cette étude s'avère être une très bonne initiative de lutte pour la sécurité alimentaire, et l'amélioration des conditions de vie des populations en milieu rural et va permettre l'essor socio-économique pour l'ensemble de la commune de Doulou.

Les méthodologies, les stratégies utilisées, la précision des calculs permettront la réhabilitation de la digue, du déversoir et de la prise offrant ainsi une plus grande capacité de rétention d'eau pour les usagers.

Cette étude a abouti à des propositions de solutions techniques d'où le changement de la nature du déversoir en type creager. L'ouvrage permettra de stocker **2 021 240 m³** suffisant pour satisfaire les besoins humains, animaux et les besoins d'irrigation.

Le cout des réhabilitations du barrage s'élève à **395 505 149 FCFA TTC**. Les travaux envisagés permettront d'assurer la pérennisation du barrage dans le contexte de changement climatique et de mieux répondre à sa vocation agricole.

Après l'étude de cet avant-projet notre souhait est de prendre part à l'élaboration du projet définitif ainsi que de participer à la réalisation des travaux.

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

En plus des différentes solutions de réhabilitation proposées, d'autres études s'avèrent nécessaire pour le développement de la localité. Nous pouvons citer entre autre :

- La réhabilitation de la piste d'accès au barrage;
- La réhabilitation du périmètre irrigué à l'aval;
- Le renforcement de la capacité des habitants en matière de gestion de la retenue dont ils bénéficient par des séances de sensibilisation;
- L'élaboration des mesures d'accompagnement de la population.

BIBLIOGRAPHIE

- C.E.T.R.I et A.G.E.C.E.T. (2016, Décembre). Situation de référence et études agro-socio-économiques du site de DOULOU.
- C.F.B.R. (2013, Juin). Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages.
- C.N.B.B et A.I.T.B. (2015). Etude de la classification des barrages au Burkina Faso.
- COMPARORE. (1996, Novembre). COURS DE BARRAGE 2e Edition.
- D.R.E.D/C.O. (2003). Monographie de la province du Boulkièmdé.
- Dr. Keïta. (2009, 2013). Irrigation par aspersion.
- Dr. MESSAN. (2015). BETON ARME 3.
- Dr. NIANG, D. (2013). Cours d'hydrologie 2.
- Dr. SCHLEISS. (2004). Cours de génie civil 4ème année à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- FAO 54. (1996). *Crues et apports: manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versant non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche.*
- G.T.P.B.A.R. (1974). *Technique des barrages en aménagement rural.*
- GUEYE, I. (2012, 2013). Cours de Barrage L2&L3.
- KARAMBIRI, H. (1998). Etude de l'envasement des barrages au Burkina Faso : Etude de cas.
- Rodier. (1975). Evaluation de l'écoulement annuel dans les régions sahéliennes et tropicales sèches.
- VORON. (2011, Avril). La réhabilitation des ouvrages existants.

ANNEXES

ANNEXE 1 : NOTE DE CALCUL

ANNEXE 2 : DONNEES PLUVIOMETRIQUES

ANNEXE 3 : PLAN DE MASSE

ANNEXE 4 : PROFIL TYPE DE LA DIGUE

ANNEXE 5 : TABLEAU D'EXPLOITATION DE LA RETENUE

ANNEXE 6 : PROFIL TYPE DE L'EVACUATEUR DE CRUE

ANNEXE 7 : PROFIL TYPE DE LA DIGUETTE DE PROTECTION

ANNEXE 8 : PARAMETRES GRAPHIQUES DU MUR BAJOYER

ANNEXE 9 : DEVIS

ANNEXE 10 : RESUME DE L'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

ANNEXE 1 : Notes de calculs

CHAPITRE 3 : Etude de base

Caractéristique du bassin versant

Surface du bassin versant **194,74 km²**

Périmètre du bassin versant **69,63 km**

- Courbe hypsométrique

C'est la répartition de la superficie du bassin en fonction de l'altitude. Elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Les altitudes spécifiques sont obtenues sur Global Mapper (cf. tableau1).

Tableau 1 : Surface en fonction des côtes spécifiques

Côte	Surface au-dessus de la côte		Altitude spécifique à	Côte correspondante
m	km2	%		
277	195,3	100,00%	5,00%	334,3
282	195,23	99,96%	95,00%	292,4
287	194,09	99,38%		
292	187,04	95,77%		
297	168,7	86,38%		
302	144,44	73,96%		
307	117,57	60,20%		
312	90,86	46,52%		
317	64,241	32,89%		
322	41,161	21,08%		
327	22,98	11,77%		
332	13,168	6,74%		
337	5,611	2,87%		
342	1,459	0,75%		
347	0,174	0,09%		
352	0	0,00%		
353	0	0,00%		

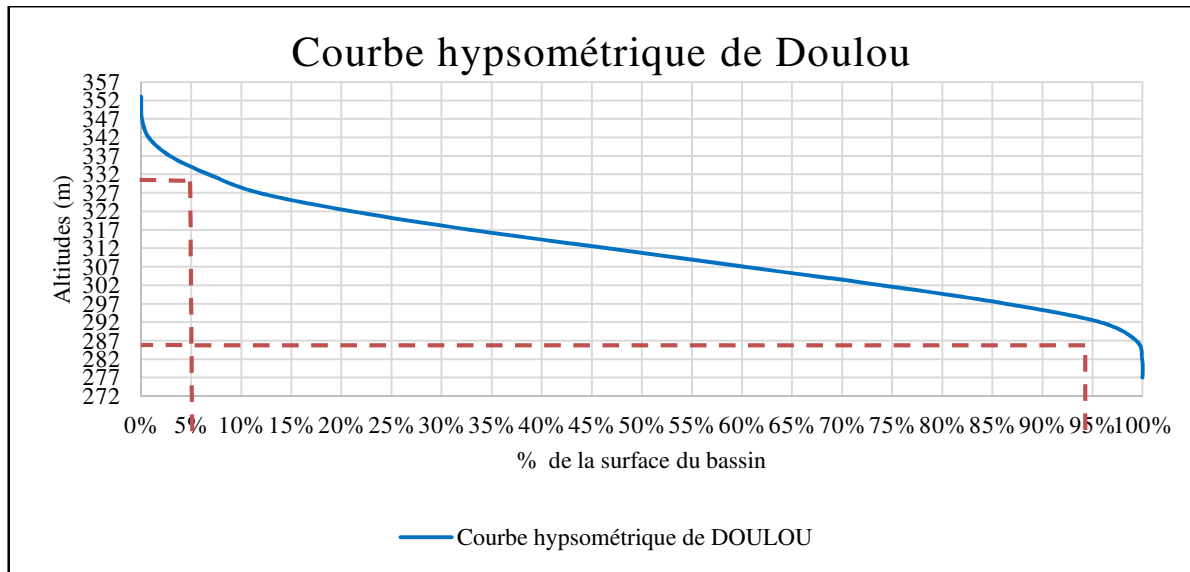


Figure 1 : Courbe hypsométrique

- Pente longitudinale I

Elle est fonction de la superficie du bassin versant et est calculée à partir de la formule simplifiée de GRESILLON :

$$I = 2,3 \text{ ‰}$$

Les expériences de l'ORSTOM faites par RODIER et AUVRAY en 1965 et reprises par RODIER en 1996 ont permis de définir les indices de pentes des bassins-versants et de Déterminer leur classification

R1	correspond à des bassins de pentes extrêmement faibles inférieures à 2 m/km (.2 ‰).
R2	correspond à des bassins de pentes faibles comprises entre 2 m/km et 5 m/km (2 ‰ et 5 ‰). Ce sont des bassins de plaine.
R3	correspond à des bassins de pentes modérées comprises entre 5 et 10 m/km (5 ‰ et 10 ‰). Ce sont des terrains intermédiaires entre la plaine et les zones à ondulation de terrain.
R4	correspond à des bassins de pentes assez fortes : pentes longitudinales comprises entre 10 ‰ et 20 ‰, pentes transversales supérieures à 20 ‰. Ce sont des zones d'ondulation de terrain.
R5	correspond à des bassins de pentes fortes : pentes longitudinales comprises entre 20 ‰ et 50 ‰, pentes transversales entre 20 et 50 ‰. Ce sont des régions de collines.
R6	correspond à des bassins de pentes très fortes : pentes longitudinales supérieures à 50 ‰, pentes transversales supérieures à 20 ‰. Ce sont des régions de montagnes.

Source : dossier N°12, Le point sur La maîtrise des crues dans les bas-fonds, petits et micro barrages en Afrique de l'Ouest. Document pratique 2 - Méthode ORSTOM (p. 354 et 355).

Dans le cas du barrage de DOULOU, la pente est égale à 4,11 ‰, est compris entre 2‰ et 5‰ ce qui permet de classer le bassin versant en classe R2.

- La perméabilité du sol

On utilisera la carte géologique du Burkina Faso pour identifier les différents types de sols du bassin versant. L'exploitation de cette carte montre que le sol du bassin-versant du barrage de DOULOU est composé en majorité de sols hydromorphes. Les mêmes expériences de l'ORSTOM, ont également permis de définir les indices de perméabilité des bassins versants Comme suit :

- P1 ou PI : bassin rigoureusement imperméable
- P2 ou I : bassin imperméable avec quelques zones perméables de faibles étendues
- P3 ou RI : bassins relativement imperméables avec des zones perméables d'étendues notables. Sahel moyen
- P4 ou P : bassins perméables, sols sableux sans pellicule ou avec un couvert végétal de graminées. Zone de sahel
- P5 ou TP : bassins très perméables, sables éoliens, sables sans pellicule et sans végétation

(Source : 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, p. 12)

On adoptera une classe de perméabilité en P3 ou RI selon la catégorisation de l'ORSTOM pour caractériser les sols du bassin-versant du barrage de DOULOU

Classification du bassin-versant

A 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 DOULOU est donc du type R2P3.

- Indice de compacité de Gravelus (Icomp)

Il est également appelé coefficient de forme. Il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie.

Icomp = indice de compacité de GRAVELUS

$$I_{comp} = 0.282 * \frac{P}{S^{0.5}}$$
$$I_{comp} = 0.282 * \frac{69,36}{194,74^{0.5}}$$

Pour un bassin-versant de forme allongée, $I_{comp} > 1$

Pour un bassin-versant de forme arrondie, $I_{comp} \leq 1$

On a $I_{comp} = 1,39$ donc > 1 : le bassin-versant du barrage DOULOU a donc une forme allongée.

- Longueur du rectangle équivalent

C'est le rectangle ayant la même surface et le même périmètre que le bassin. Elle est obtenue par la formule :

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

$L_{eq} = 27,63 \text{ Km}$

- Densité de drainage

Elle est définie comme le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la surface du bassin.

$$Dd = \frac{\sum Li}{S}$$
$$Dd = \frac{115.10}{194.74}$$

Avec $\sum Li$: la longueur totale du réseau hydrographique

$Dd = 0,59$

- Indice global de pente I_g

C'est le rapport de la dénivelée (ΔH) séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles à la longueur du rectangle équivalent (L). Les altitudes étant déterminées sur la courbe hypsométrique et la longueur du rectangle équivalent connu, l'indice global de pente est déterminé par la formule suivante :

$$I_g \left(\frac{m}{km} \right) = \frac{\Delta H(m)}{L_{eq}(km)}$$
$$I_g \left(\frac{m}{km} \right) = \frac{41,84(m)}{27,63(km)}$$
$$I_g \left(\frac{m}{km} \right) = 1,53$$

Lorsque les pentes transversales sont trop différentes ($> 20\%$) de la pente longitudinale (I_g), on calcul alors un indice global de pente corrigé (I_{gcorr}) qui vaut :

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

La pente transversale moyenne mesurée sur 4 ou 6 lignes de plus grande pente du bassin versant.

N=2 pour L<5 km, N=4 pour 25<L>50 km

N=3 pour 5<L>25 km, N=6 pour L>50 km

L = 27,63 km donc n =4

Les résultats sont dans le tableau 2.

Tableau 2 : Pentes transversales

Calcul de It			
AltMax (m)	Altmin (m)	L (km)	It
346,29	301,03	4,40	10,29
347,50	296,26	4,96	10,20
332,48	290,18	5,07	8,34
327,28	286,50	4,13	9,88
Moyenne			9,50

$$I_{gcorr} = \frac{(4-1) \times 1,53 + 9,50}{4}$$

I_{gcorr} = 3,53 m/km

 Crue de projet

La crue est caractérisée par un débit de fréquence rare exprimant une augmentation instantanée de volume d'eau qui transite par le cours d'eau. Pour des raisons de sécurité la crue de projet adoptée est celle que l'ouvrage doit être capable d'évacuer sans dommages.

Le bassin versant faisant l'objet d'étude est un bassin versant non jaugé car ne dispose pas de dispositif de mesure de débit. Par conséquent pour l'estimation des crues et des apports il sera adopté les méthodes empiriques, CIEH, ORSTOM, et de Gradex.

$$Kr_{70} \text{ ou } K_{100} = \frac{a}{(S+b)} + c \quad \text{Et} \quad Tb_{10} = a \times S^{0,35} + b \quad \text{en fonction du type de climat et de la}$$

superficie du bassin versant supérieur à 7 km. Pour I_{gcorr} = 3,53 m/km, il faut procéder par interpolation pour obtenir les différents paramètres nécessaire au calcul du coefficient de ruissellement et du temps de base. En zone tropical sèche paramètres utilisés sont les consignés dans les tableaux 3, 4 et 5 ci-dessous :

Tableau 3 : Détermination du Kr70

Interpolation de Kr70			
Pour Ig = 7			
Kr70	a	b	c
19,4	200	20	18,5
Pour Ig = 3,53			
Kr70			
16,2			
Pour Ig = 3			
Kr70	a	b	c
15,7	150	20	15

Tableau 4 : Détermination du Kr100

Interpolation de Kr100			
Pour Ig = 7			
Kr100	a	b	c
23,1	240	30	22
Pour Ig = 3,53			
Kr100			
18,6			
Pour Ig = 3			
Kr100	a	b	c
17,9	200	30	17

$$Kr_{10} = Kr_{70} \frac{Kr_{100} - Kr_{70}}{(100 - 70)} + (P_{10} - 70)$$

$$Kr_{10} = 16,2 \times \frac{18,6 - 16,2}{(100 - 70)} + (72,93 - 70)$$

$$Kr_{10} = 16,40\%$$

Tableau 5 : Détermination du temps de base

Interpolation de Tb		
Pour Ig = 7		
Tb	a	b
1229,4	163	142
Pour Ig = 3,53		
Tb		
2318,2		
Pour Ig = 3		
Tb	a	b
2483,1	325	315

Le temps de base **T_{b10} = 2318,2 mn** soit 38,64 h.

En zone tropical sèche le temps de montée est T_{m10} = 0,33. T_{b10} (cf. tableau 6).

Tableau 6 : Temps de montée

T _{m10}	765,01	mn
	12,75	h

- Méthode ORSTOM

Cette méthode résolument déterministe est fondée sur un modèle global pluie-débit fondée sur la théorie de l'hydrogramme unitaire. On considère que le bassin versant constitue une entité homogène, tant en ce qui concerne les apports pluviométriques que ses caractéristiques physiques.

Pour ce modèle, le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation suivante :

$$Q_{r10} = mA \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{T_{b10}}$$

Avec :

S : la superficie du bassin versant ; P₁₀ : pluie journalière maximale décennale (mm)

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal ; T_b : temps de base de la crue décennale (mn)

A : coefficient d'abattement (%)

Les résultats sont ci-dessous (cf. tableau 7) :

Tableau 7 : Débit décennal par la formule d'ORSTOM

Méthode ORSTOM							
Corriger Ig		OUI					
Igor :		3,53					
Variables d'entrée				Variable de sortie			
	Symbole	Valeur	Unité		Symbole	Valeur	Unité
Coeff. Ruissellement	Kr70 :	16,2	%	Lame ruisselée	Lr10 :	8,45	m
	Kr100 :	18,6	%	Vol. ruisselé	Vr10 :	1 645 341	m3
	Kr10 :	16,4	%	Temps de base	Tb10 :	2318,15	mn
			-	Débit moyen	Qmr10 :	11,83	m3/s
			-	Débit max ruiss	Qr10 :	30,76	m3/s
Coeff. de pointe	a10 :	2,6	-	Débit de pointe	Q10 :	31,68	m3/s
				Volume de crue	Vc10 :	1 773 677	m3

- Méthode CIEH

C'est une méthode statistique proposée par Puech et Chabi-Gonni en 1983 et basée sur 162 bassins versants dont l'origine vient essentiellement du recueil de Dubreuil (1972) sur les bassins expérimentaux.

La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de point Q10 est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme suivante :

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

Avec :

Q₁₀ : crue décennale (m³/s) ; S : la superficie du bassin versant

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal ; P_{an} : pluviométrie annuelle

D_d : la densité de drainage

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous (cf. tableau 8):

Tableau 8 : Débit décennal par la formule de CIEH

Paramètres du modèle							
Coefficient selon la pluie annuelle							
Formule 39							
Corrélation	a	S	Ig	Pan	Pm10	Kr10	Dd
0,818	0,41	0,425	0			0,923	
Formule 40							
Corrélation	a	S	Ig	Pan	Pm10	Kr10	Dd
0,824	0,254	0,462	0,101			0,976	
Résultats obtenus							
	Débit	Valeur	Unité				
	Q1	51,01	m3/s				
	Q2	46,52	m3/s				

- Méthode Gradex

Selon la classification du Comité National de Grands Barrages le barrage de Doulou est considéré comme un petit barrage au regard de sa taille. De ce fait une période de retour de 100 ans est retenue comme débit de projet. La crue centennale sera retenue pour la vérification hydraulique du déversoir pour tenir compte des changements climatiques de nos jours.

Cette méthode permet le passage du débit décennal au débit projet sous une forme linéaire. L'expression générale de la méthode du Gradex se présente sous la forme :

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

$$C_{100} = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{\left(\frac{T_b}{24}\right)^{0,12}}{Kr_{10}}$$

Avec

Q_{100} : crue centennale (m³/s) ; Q_{10} : crue décennale (m³/s)

P_{10} : pluie journalière maximale décennale (mm) ; P_{100} : pluie journalière maximale de la période de retour de 100 ans

T_b : temps de base de la crue décennale (mn) ; Kr_{10} : coefficient de ruissellement décennal

Il a été retenu le maximum des débits décennal pour le calcul du débit projet.

Les résultats issus des calculs de débit sont consignés dans le tableau ci-dessous (cf. tableau 9):

Tableau 9 : Débit centennal

Méthode	Le débit projet						
	CIEH			ORSTOM	GRADEX		
Débit en m ³ /s	Q1	Q2	Q	Q	Q10	C	Q100
	51,01	46,52	48,76	30,76	39,8	5,7420817	228,30

CHAPITRE 4 : Vérification des ouvrages existants

Les dimensions hydrauliques du seuil

N'ayant pas le débit de base de dimensionnement du barrage actuel, il est difficile de connaître la lame d'eau au-dessus du déversoir. A partir du débit de projet obtenu par nos calculs, il sera déterminé la lame d'eau au-dessus du déversoir à partir des dimensions pris sur le terrain. Pour plus de sécurité vis-à-vis de l'incertitude des changements climatiques, le laminage ne sera pas pris en compte. Connaissant la longueur actuelle du déversoir qui est de 60 m, la formule du seuil dénoyé est utilisée pour déterminer la lame d'eau au-dessus du déversoir.

$$Q = m \times L \times (2 \times g)^{1/2} \times h^{3/2}$$

Connaissant les autres paramètres sauf la longueur, son expression en fonction des autres

paramètres donne : $h = \left(\frac{Q}{m \times L \times (2 \times g)^{1/2}} \right)^{2/3}$ avec :

Q (m³/s) : le débit de projet ; L (m) : Longueur du seuil déversant

M : Coefficient de débit ; h (m) : charge au-dessus du seuil

G (m/s³) : Accélérateur de pesanteur

$$h = \left(\frac{228,30}{0,48 \times 60 \times (2 \times 9,81)^{1/2}} \right)^{2/3}$$

$$h = 1,47m$$

Vérification de la revanche libre

Approche empiriques

Mais pour des raisons sécurité vis-à-vis des incertitudes liées aux connaissances hydrologiques et compte tenu des changements climatiques, l'effet de laminage sera négligé.

• **Formule de Molitor**

Pour le calcul de Fetch on applique la formule suivante :

$$\text{Pente} = \frac{\text{Verticale}}{\text{Horizontale}} = \frac{\text{Hauteur barrage}}{\text{Fetch}}$$

$$\text{La valeur du fetch } f = \frac{3,5}{2,3\%} = \mathbf{1,52 \text{ km}}$$

$$\text{Pour } f < 30 \text{ km, } h = 0,76 + 0,032\sqrt{U * f} - 0,26 * \sqrt[4]{f}$$

Avec f = fetch (m), U = vitesse du vent (km/h)

La vitesse maximale du vent à la station de Ouagadougou Aéroport est de 2,7 m/s soit environ 10 km/h (la station synoptique la plus proche).

$$h = 0,76 + 0,032\sqrt{2,7 * 1,52} - 0,26 * \sqrt[4]{1,52}$$

$$\boxed{h = 0,54 \text{ m}}$$

Formule de Gaillard

$$V = 1,5 + 2 * h$$

Avec $h = 0,54 \text{ m}$

$$V = 1,5 + 2 * 0,54$$

$$\boxed{V = 1,62 \text{ m/s}}$$

$$R = 0,754 * H + \frac{V^2}{2g} \quad \text{Avec } h = 0,91 \text{ m et } V = 3,32 \text{ m/s}$$

$$R = 0,754 * 0,54 + \frac{1,62^2}{2g}$$

$$\boxed{R = 0,54 \text{ m}}$$

Approche simplifié

Les chercheurs du comité des Grands Barrages proposent des recommandations sur l'estimation de la revanche en fonction du volume de la retenue et la hauteur de la digue (H) pour les petits barrages. Les valeurs proposées sont consignées dans le tableau ci-dessous (cf. tableau 10) :

$H^2 \sqrt{V}$	5	30	100	700	1500
R min (m)	0,4	0,6	0,8	1,05	1,3

Source : *Petits Barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi- Cemagref – Comité Français des grands barrages.*

Pour une hauteur de la digue de 3,5 m et un volume de la retenue de 1,55 Mm³, le coefficient $H^2 \sqrt{V} = 15,25$. En procédant par interpolation la revanche minimale est de 0,48 m.

Il sera donc considéré une valeur de :

$$R = 50cm$$

Avec la digue fixé à la côte 280 m, la revanche libre observé au-dessus du déversoir actuel est de : $R = \text{côte digue} - (\text{côte PEN} + \text{Lame d'eau au-dessus du déversoir})$

$$R = 280 - (278,25 + 1,47) = 0,28m$$

La revanche libre du déversoir est donc insuffisante.

CHAPITRE 5 : Proposition de réhabilitation

Enrochement de la digue

Les éléments de l'enrochement doivent être tels que 50% des pierres aient un diamètre supérieur à 20 cm, es éléments les plus petits n'ayant pas un diamètre inférieur à 10 cm. En fonction de la hauteur des vagues h, le tableau 11 ci-dessous donne la dimension préconisée de la protection classique en enrochement : épaisseur e de la couche.

Tableau 11 : Epaisseur des enrochements

Dimension de la protection amont en enrochements		
Hauteur des vagues h (m)	Epaisseur e (m)	d50 des blocs (m)
0,30	0,30	0,20
0,55	0,40	0,25
0,80	0,50	0,30
1,05	0,60	0,40
1,30	0,70	0,45
1,55	0,80	0,50

La hauteur des vagues calculée précédemment est $h = 0,54$ m. Il sera donc considéré une épaisseur de 0,40 m avec un diamètre de 0,25 m pour 50% des pierres.

Stabilité du déversoir

Le déversoir doit résister à la poussée de l'eau, être stable vis-à-vis du renversement, du glissement sur la fondation, ainsi que du poinçonnement. Les calculs nécessaires à ses vérifications sont résumés dans les tableaux 12, 13 suivants :

Tableau 12 : Stabilité du déversoir au PNE

Résultats de calculs à la côte PNE					
Désignations	Forces (kN/ml)		Bras de levier (m)	Moments (kN.m)	
	Verticale	Horizontale		Stabilisants (+)	Renversants (-)
Poids propre					
W1	78,00		3,00	234,00	
W2	67,50		1,67	112,50	
W3	54,00		1,25	67,50	
Poussée externes					
Pe1		0,00	1,63		0,00
Pe2		52,81	1,08		57,21
Pea		7,69	0,41	3,18	
Sous pressions					
Pi1	30,54		2,50		76,36
Pi2	18,60		0,75		13,95
Pi3	10,53		2,83		29,83
Pi4	2,15		1,00		2,15
Poussée des terres					
PT		1,67	0,33		0,56
Sommes	261,33	60,50		417,18	179,51

Tableau 13 : Stabilité du déversoir au PHE

Résultats de calculs à la côte PHE					
Désignations	Forces (kN/ml)		Bras de levier (m)	Moments (kN.m)	
	Verticale	Horizontale		Stabilisants (+)	Renversants (-)
Poids propre					
W1	78,00		3,00	234,00	
W2	67,50		1,67	112,50	
W3	54,00		1,25	67,50	
Poussée externes					
Pe1		26,00	1,63		42,25
Pe2		52,81	1,08		57,21
Pea		7,69	0,41	3,18	
Sous presions					
Pi1	32,83		2,50		82,07
Pi2	18,60		0,75		13,95
Pi3	14,72		2,83		41,70
Pi4	3,01		1,00		3,01
Poussée des terres					
PT		1,67	0,33		0,56
Sommes	268,66	86,50		417,18	240,20

La stabilité au glissement

Vérifier la stabilité au glissement, revient à comparer la force tangentielle de glissement admissible sous le mur avec la composante tangentielle réellement appliquée. Il y a stabilité si :

$$F_G = \frac{\sum(W - u) \tan \phi}{\sum(P)} \geq 1$$

F_G : coefficient de sécurité au glissement dans le cas où la cohésion est nulle

$F_G = 1,34 > 1$, donc la stabilité au glissement est vérifiée.

La stabilité au renversement

L'étude de stabilité au renversement consiste à calculer par rapport au point B, les moments des forces motrices et forces résistantes. On écrit le rapport des moments stabilisant sur des moments renversant, considéré comme coefficient de sécurité au renversement. Il y a stabilité au renversement si le coefficient de renversement $F_R > 1,5$.

Le coefficient de renversement $F_R = \left| \frac{Ms}{Mr} \right|$

$F_R = 1,73 > 1,5$, donc la stabilité au renversement est vérifiée

La distance par rapport au point B $X = \frac{\sum Mr - Ms}{\sum Fv}$

$X = 1,35 \text{ m}$

L'excentricité e du point d'application de la résultante des forces appliquées à l'ouvrage par rapport au centre de gravité G de la surface de la base S est :

Excentricité $e = \overline{OB} - X$; $e = 0,15 \text{ m}$

La règle du tiers centrale $\frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6} = 0,58 \text{ m}$

La stabilité au renversement est vérifiée.

Stabilité au poinçonnement

Les contraintes doivent être positives mais inférieures à la contrainte du sol (σ_A et σ_B positives mais $< \sigma_{sol}$).

Le point C agit au centre de gravité du seuil mais à la base du seuil, il agit à $b/2$.

$$\sigma_A = \frac{\sum Fv}{b} + \frac{6 \times \sum \text{Moments forces}/G}{b^2} < \sigma_{sol}$$

$$\sigma_B = \frac{\sum Fv}{b} - \frac{6 \times \sum \text{Moments forces}/G}{b^2} < \sigma_{sol}$$

On prendra $\sigma_{sol} = 0,15 \text{ Mpa}$ soit 150 kPa .

$\sigma_A = 42,7 \text{ kPa}$

$\sigma_B = 71,31 \text{ kPa}$

D'où la stabilité au poinçonnement est vérifiée.

En conclusion, la stabilité de l'ouvrage est assurée.

Bassin de dissipation

• Profondeur normale dans le chenal d'écoulement

Pour le calcul, le chenal est assez pour l'utilisation de la formule de Manning Strickler pour une section trapézoïdale

$$Q = K_s \frac{(y(b + my_n))^{5/3}}{(b + 2my_n)^{2/3}} \sqrt{I}$$

Q : débit de crue: 159,33 (m³/s) ; Y_n : tirant d'eau normal (m)

I : pente de 2/1000 ; m : fruit de berges, pris égal à 1 ; b : base du chenal 105 m

K_s : coefficient de rugosité de Manning Strickler, pris égal à 75 (béton lisse avec joints)

La relation du débit est une équation implicite pour le paramètre y_n. La résolution d'une telle équation peut se faire de façon numérique

Après une série de simulation, nous avons abouti à la valeur de :

$$y_n = 1,01m$$

Détermination des paramètres D, Fr et y₂

Les paramètres de bases pour les calculs sont :

La valeur de H₀ (pelle maximale du déversoir) est lue sur le profil en long soit H₀ = 2,250m

La lame déversant est h = 0,80 m

Par ailleurs, le débit unitaire est donné par $q = \frac{Q}{L}$ avec

Q : débit de la crue de projet 228,30m³/s

L : longueur du déversoir (L = 150 m)

Enfoncement du bassin D

Débit unitaire $q = m * (2g)^{\frac{1}{2}} * h_0^{3/2}$ (m³/s)

Coefficient de débit m=0,48

Vitesse de l'eau au-dessus du seuil $V_0 = \frac{q}{h_0} \left(\frac{m}{s}\right)$

Ligne d'eau $H = h_0 + \frac{V_0^2}{2 * g}$ (m)

Hauteur de chute $Z = H_0 + H + D$

Tableau 14 : Paramètres de calcul

y_n (m)	h (m)	H_0 (m)	g (m/s ²)	q (m ³ /s/ml)	V_0 (m/s)	H (m)
1,01	0,80	2,25	9,81	1,52	1,90	2,65
h/H_0	y_n/H_0	D/H_0	D (m)	D pris	H_e (m)	Z (m)
0,36	0,45	0,15	0,34	0,40	0,98	1,78

Les conditions $0,05 \leq h/H_0 \leq 0,7$ et $0,1 \leq y_n/H_0 \leq 0,8$ étant respectées, l'abaque ci-dessous permettant de lire l'enfoncement D du bassin en fonction de y_n/H_0 et h/H_0 peut alors être utilisée et on obtient :

$D/H_0 = 0,15$ soit $D = 0,34$ m. Prenons $D = 0,40$ m comme valeur initiale pour les calculs itératifs

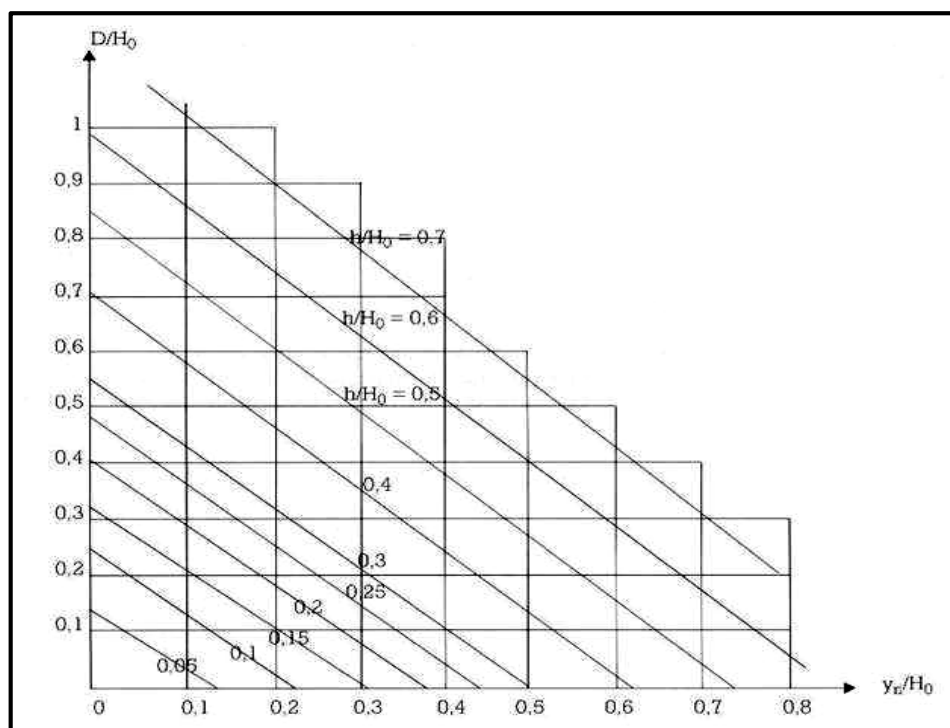


Figure 2 : Détermination de l'enfoncement du bassin de dissipation

La profondeur d'eau à l'entrée du bassin c'est-à-dire le tirant d'eau avant le ressaut

$$Y_1 = \frac{q}{(2g * (Z - Y_1))^{1/2}}$$

Par itération on a (cf. tableau 15) :

Tableau 15 : Détermination de Y1

q	Z	Y1fixé	rapport	Dh
1,522	1,78	0,05	0,25476734	-0,20476734
		0,15	0,14708999	0,00291001
		0,151	0,14660213	0,00439787
		0,15	0,14708999	0,00291001
		0,14	0,15225261	-0,01225261
		0,148	0,14808051	-8,0511E-05

Il est prise comme valeur de Y1 = 0,15 m.

La vitesse de l'eau à l'entrée du bassin est de : $V_1 = \frac{q}{Y_1}$ (m/s)

$$V_1 = 7,54 \text{ m/s}$$

Le nombre de Froude : $Fr = \frac{V_1}{(g*Y_1)^{1/2}}$

$$Fr = 6,26$$

La hauteur d'eau à la sortie du bassin après ressaut : $Y_2(m) = \frac{Y_1*((8*Fr^2+1)^{1/2}-1)}{2}$

$$Y_2 = 1,24 \text{ m}$$

$Y_n + D = 1,41 > y_2$ d'où le choix du bassin de type II.

Les autres paramètres sont obtenus à l'aide de l'abaque ci-dessous en fonction du nombre de Froude.

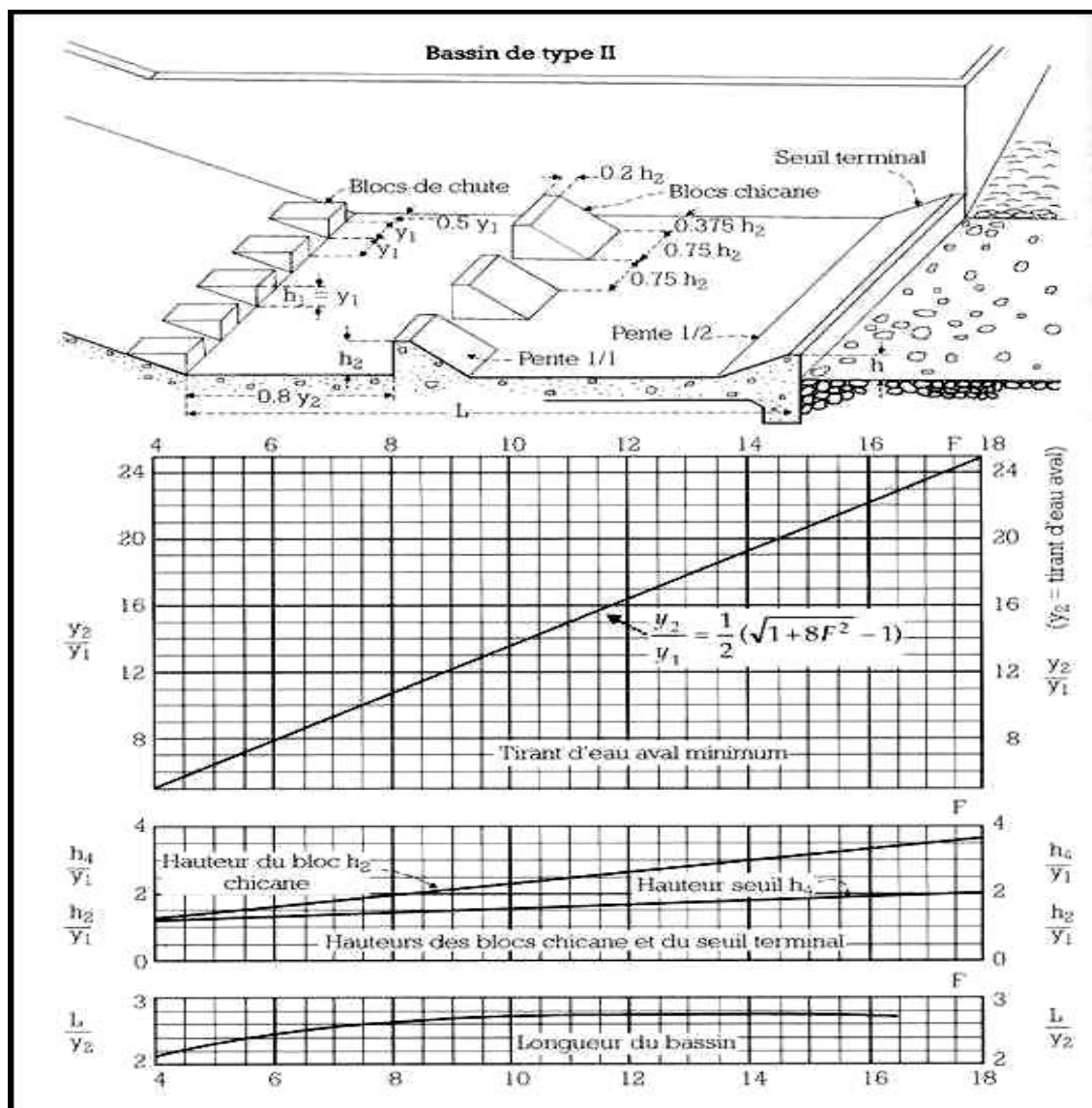


Figure 3 : Bassin de type 2

Tableau 16 : Longueur du bassin de dissipation

Longueur du bassin (abaque)				
Fr	Y_2	L/y_2	L	L retenue
6,26	1,24	2,75	3,41	5

La profondeur du bassin de dissipation est obtenue par la formule :

$$P = 0,1 \times (y_2 + v_1)$$

$$P = 0,1 \times (1,24 + 7,54)$$

$$P = 0,90 \text{ m}$$

Les blocs chicanes

Largeur : $l_2 = 0,75 \times h_2$,

Espacement $e_2 = 0,75 \times h_2$,

Épaisseur en crête : $b_2 = 0,20 \times h_2$

Tableau 17 : Paramètres des blocs chicanes

Les blocs chicanes							
Fr	y1	h2/y1	Pente	La hauteur h2 (m)	Largeur (m)	Espacement (m)	épaisseur de crête (m)
6,26	0,15	1,75	V/H=1/1	0,30	0,20	0,20	0,05

Les blocs de chute

$h_1 = y_1 = b_1 = e_1 = 0,15 \text{ m}$

Tableau 18 : Paramètres des blocs de chute

Les blocs de chute (abaque)			
Fr	La hauteur h1(m)	La largeur à la base b1 (m)	esp, e1 (m)
6,26	0,15	0,15	0,15

Seuil terminal

Tableau 19 : Paramètres du seuil terminal

Seuil terminal du bassin				
Fr	Y1 (m)	H4/y1	Pente	Hauteur h4 (m)
6,26	0,15	1,4	2H/1V	0,20

La distance entre les blocs de chute et les blocs chicanes est de :

$d = 0,8 \times y_2 = 0,8 \times 1,24$

d = 1 m

Les bajoyers

- Pré dimensionnement

Le pré dimensionnement a donné les paramètres suivants (cf. tableau 20) :

Tableau 20 : paramètre géométrique du bajoyer

Données à introduire				RADIAN
a(m)	0,8	$\beta(^{\circ})$	0	0
b(m)	0,3	$\phi' (^{\circ})$	33	0,58
b'(m)	0,7			
c(m)	1,5	$\phi'_s (^{\circ})$	30	0,52
h(m)	0,5	$\gamma T(Kn/m^3)$	19	
H(m)	3,75	$\gamma_{béton}(Kn/m^3)$	25	
L(m)	3,75	qadm(bar)	2,3	
q(kN/m ²)	10	B(m)	3	

- Calcul des différentes forces et moment (Voir [annexe 8](#) pour schémas graphique)

Les différentes formules qui ont été utilisées :

Les différentes formules ont été utilisées :

Coefficient de poussée

$$K_a = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

Poids de la semelle

$$P_s (KN/ml) = \gamma_{béton} * (a + b' + c) * h$$

Poids du voile

$$P_v(KN/ml) = \gamma_b * \left(\frac{b + b'}{2} \right) * h$$

Poids des terres

$$P_T(KN/ml) = \gamma_{eau} * \left[(H * c) + \left(\frac{(b - b')}{2} \right) * l \right]$$

Poids des surcharges

$$P_q(KN/ml) = q * c$$

Force de poussées des terres

$$F_{PT}(KN/ml) = \frac{1}{2} * (K_a * \gamma_{eau} * (h + H)^2)$$

Force de poussée des surcharges

$$F_{Pq}(KN/ml) = K_a * q * (h + H)$$

Moment de renversement par rapport au point O

$$M_R(KN/m) = F_{PT} * \left(\frac{H + h}{3} \right) + F_{Pq} * \left(\frac{h + H}{2} \right)$$

Moment stabilisant par rapport au point O

$$M_{St}(KN/m) = P_S * \left(\frac{a + b' + c}{2} \right) + P_V * \left(a + \frac{b'}{2} \right) + P_T * \left(a + b' + \left(\frac{c}{2} \right) \right) + P_q * \left(a + b' + \left(\frac{c}{2} \right) \right)$$

Poids total de l'ouvrage

$$N = P_S + P_V + P_q + P_T$$

Force totale de poussée

$$V = F_{Pq} + F_{PT}$$

Moment par rapport à l'axe de la semelle

$$M_G(KN/m) = P_V * \left(\frac{c - a}{2} \right) - (P_T + P_q) * (a + b') * \frac{1}{2} + F_{PT} * (H + h) * \frac{1}{3} + F_{Pq} * (H + h) * \frac{1}{2}$$

L'excentricité

$$e = \frac{\text{Poids total de l'ouvrage}}{\text{Moment par rapport à l'axe de la semelle}}$$

Les résultats sont les suivants (cf. tableau 21, 22 et 23):

Tableau 21 : Forces agissant sur le bajoyer

Calculs élémentaires	
coefficient de poussée K_a	0,29
Poids de la semelle P_s (KN/ml)	32,5
Poids du voile P_v (KN/ml)	46,875
Poids des terres P_T (KN/ml)	121,125
Poids des surcharges P_q (KN/ml)	15
Forces de poussée des terres F_{PT} (KN/ml)	50,59
Forces de poussée des surcharges F_{Pq} (KN/ml)	12,53

Tableau 22 : Calcul des moments

Calculs secondaires	
Moment de renversement par rapport au point o "MR" (KN.m)	98,29
Moment stabilisant par rapport au point o "Mst" (KN.m)	408,9375
Poids total de l'ouvrage N (KN/ml)	215,50
Force total de poussée ou Resultant de poussée V (KN/ml)	63,12
Moment total par rapport à l'axe de la semelle MG (KN.m)	12,60
L'excentricité "e" (m)	0,06

Tableau 23 : Vérification de la stabilité du bajoyer

Vérifications du mur de soutènement	Formule	Valeur	Appréciation
Stabilité au renversement	$\frac{MST}{MR} \geq 1,5$	4,16	VRAI
Stabilité au non soulèvement(m)	$e \leq \frac{B}{6}$	0,50	VRAI
Stabilité au poinçonnement (bar)	$q_{ref} \leq q_{adm}$	0,76	VRAI
stabilité au glissement	$\frac{N \tan \phi'_s}{V} \geq 1,5$	1,97	VRAI
Stabilité totale du mur de soutènement avec les 04 conditions			VRAI

ANNEXE 2 : Données météorologiques

Pluviométrie totale annuelle

Données pluviométriques mensuelles à la station de Koudougou de 1956 à 2012)

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
1956	0	6,4	0	50,1	92,4	126	221,2	138,2	161,9	13,8	0	0	803,2
1957.	0	0	0	31,4	98,6	126	234,4	236,3	146,6	90,4	0	0	963,8
1958	0	0	9	4,7	28,9	192	230,1	373,9	226,8	0	9,8	0	1074,7
1959	0	0	0	15	113,7	132	105,1	365,5	123,4	19,4	0	0	873,8
1960	0	0	15,6	10,7	29,7	100	349,6	110,8	189,5	47,3	0,3	0	853,8
1961	0	0	0	74,6	72	81,8	249,5	241,3	151,9	10,5	0	0	881,6
1962	0	0	0	30,9	121,9	151	71,6	429,6	206,9	30,5	11	0	1053
1963	0	0	0	21,1	45	67,2	247,7	251,5	144,8	48,3	0	0	825,6
1964	0	0	12,7	50,6	40,7	146	254,1	275,6	191,1	22,9	0	15,8	993,3
1965	0	0	0	3,4	41,3	105	122,9	112,2	187,4	42,7	0	0	615,1
1966	0	0	0	69,2	59,3	119	107	240,1	177	61,9	18,5	0	852,2
1967	0	3,7	7,9	12,2	65,2	60,3	145,3	278,4	132,1	6,3	0	0	707,7
1968	0	18,3	46,2	80,6	123,5	127	189,1	187,8	184,1	84,9	3	0	1026,3
1969	0	0	0,7	21,2	67,5	76	122,8	293,5	240,1	22,4	11,4	0	855,6
1970	0	0	0	13,5	91,1	72,7	222,4	246,3	138,6	12,9	0	0	797,5
1971	0	0	8,2	25,9	9,7	60,2	157,6	234,3	92,6	7,3	0	3,6	595,8
1972	0	0	0	17,3	83,6	70,7	123,7	185,8	146,3	101,5	0	0	728,9
1973	0	19,6	0	33,5	55	70,9	232,1	153,6	55,4	23,7	0	0	624,2
1974	0	0	6,7	1,5	43,6	0	130,7	253,6	268	13,5	0	0	717,6
1975	0	0	8,1	20,9	34,6	118	147,8	200	109,7	21,5	0	0	660,6
1976	10	0	0	14,5	97,2	174	126,1	126,5	124,6	67,9	3,4	0	734,5
1977	0	0	10	5,6	107,3	95,1	97,8	273,6	73,1	44,8	0	0	707,3
1978	0	0	0	58,7	32,4	63,7	220,3	0	157,5	41,3	51	0	624,9
1979	0	0	2,8	7,2	57,1	165	57,7	0	192,2	105,2	11	0	598
1980	0	0	0	14	44,5	81,7	153,5	230,8	46,6	29,8	0	0	600,9
1981	0	0	16	20,2	59	98,8	211	209,6	105,7	15,5	0	0	735,8
1982	0	0	29,2	7	41,3	81,1	92,2	186,1	34,5	81,8	0	0	553,2
1983	0	0,1	0	6,9	56,9	112	196,3	138,1	102,2	4,2	0	0	616,7
1984	0	0	50	43,2	129,6	53,1	106,1	128	145,9	57,7	6,9	0	720,5
1985	0	0	0	4,8	15,2	65,9	312,1	193,1	113,5	6,4	0	0	711
1986	0	0	0,3	13,9	151,7	95,3	149,8	232,2	193,6	62,4	0	0	899,2
1987	0	0	2,8	0	67,7	157	223,8	194,7	128,7	27,5	0	0	802,4
1988	0	0	0,7	69,2	18,7	116	240,8	324,5	76,3	0,2	1,2	0	847,9
1989	0	0	38	3,1	27,4	25,2	158	377,9	122,5	60,8	0	0	812,9
1990	0	0	0	3,4	58,8	51	167,8	241,7	119,3	6,1	0	0	648,1

1991	0	0	0,5	10,4	188,9	92,7	81	327	96,4	88,4	0	0	885,3
1992	0	0	0	1,9	51,1	137	258	282,2	87,4	0	5,4	0	823,3
1993	0	0	12,2	15,5	17,3	69,5	166,1	209,1	141,9	*	*	*	631,6
1994	0	0	13,3	0	104,1	83,5	151,2	313,3	90,7	*	*	0	756,1
1995	0	0	0	39,5	69,5	156	77,5	190,1	146,5	*	*	*	679,2
1996	0	0	0	29,2	42,5	104	149,7	203,1	154	34	0	0	716
1997	0	0	0	10	*	50	210,5	129	34	0	0	0	433,5
1998	0	0	0	0	26	104	122	116	289,9	53,9	0	0	711,8
1999	0	0	0	33	78,8	57,3	228,3	386,3	220	9	0	0	1012,7
2000	0	0	0	0	35	83,3	161,8	180,2	54,5	53	0	0	567,8
2001													0
2002													0
2003													0
2004													0
2005				41,5	25,3	50,3	67,2						184,3
2006					45	157	161	260,5	118				741,5
2007				20	47	26	212,8	403,6	87,4				796,8
2008					61	66,5	287	281,5	146,5	61,5			904
2009		2,8	7,8	9,3	41,3	130	238,5	294,6	234,3	45,1			1000,9
2010				46,8	81	52,5	132,7	210,4	258,5	53,4			835,3
2011					26,4	93,2	145,3	205	53,3	13,8			537
2012		1,9		22,4	45,2	29,7	194,1	230,4	118,3	23,9	20,7		684,7

 Pluie maximale journalière

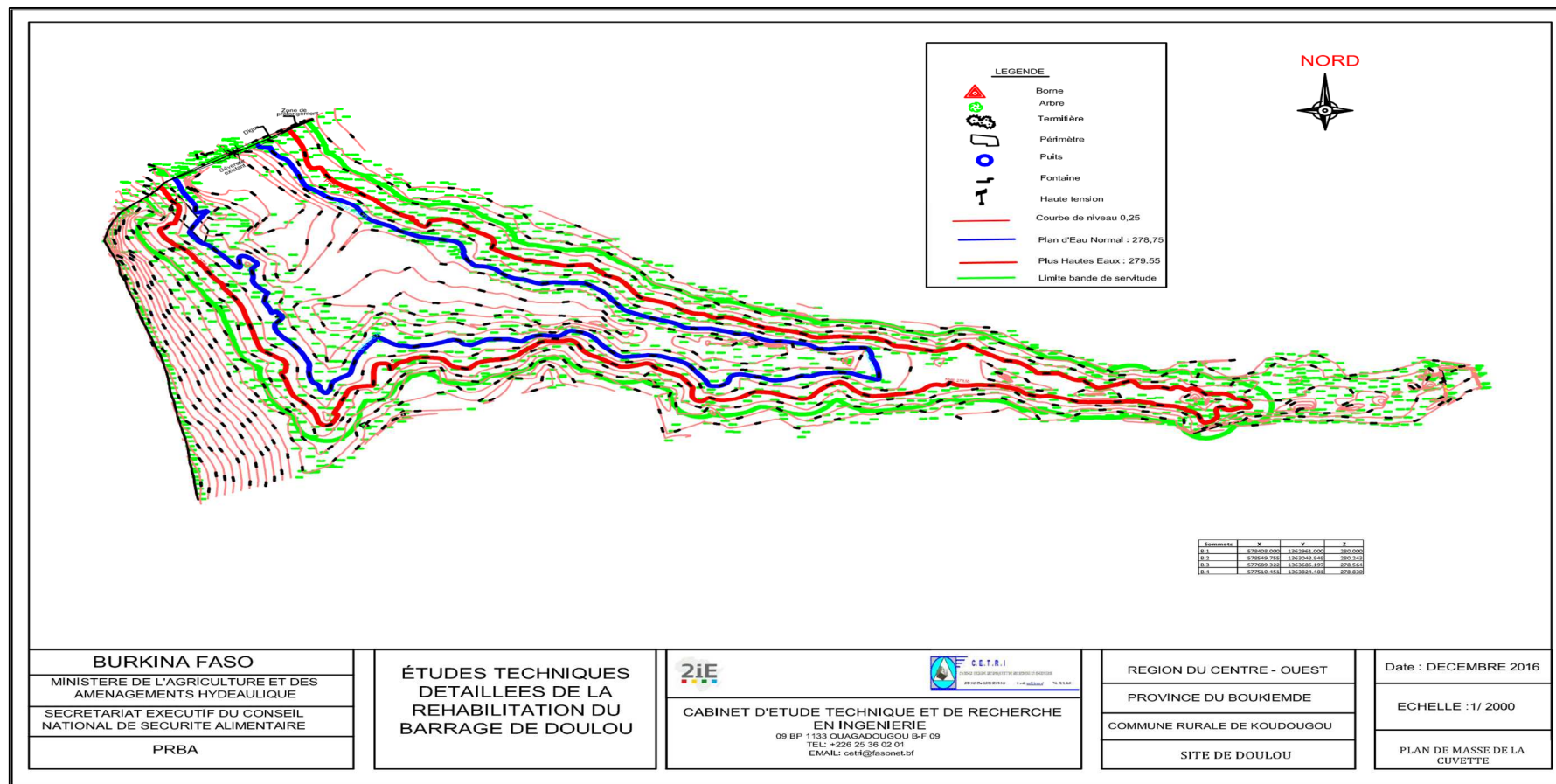
Données pluviométriques journalières à la station de Koudougou de 1968 à 2012

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
1968	0	0	6	0	11,5	16	48	26	40,2	19	0	0	48
1969	0	0	0	0	8,4	58	10,5	51,6	13,5	51,8	0	0	58
1970	0	0	0	0	23	11,2	57,6	21	52,3	4	0	0	57,6
1971	0	0	6,5	0	1,8	14,5	17	36,7	9	0	0	0,7	36,7
1972	0	7,5	0	0	23	17,5	49,5	21,5	13,4	21,5	0	0	49,5
1973	0	0	0	3,5	15	5,5	76,5	26,5	64,1	0	0	0	76,5
1974	0	0	0	7,4	8,4	19,7	50,9	54	21,3	3,9	0	0	54
1975	0	0	0	12,4	18	8,2	23,1	30,6	53,9	0	0	0	53,9
1976	0	0	1,2	0,2	13,2	13,6	24,3	44,2	22,7	32	0	0	44,2
1977	0	0	0	0	0	25,5	24,3	39,6	13,3	32	0	0	39,6
1978	0	0	0	11,5	**	**	36,8	46,4	**	**	0	**	46,4
1979	0	0	0	0	3,4	19,7	38,5	73,5	23,8	17,5	**	0	73,5
1980	0	0	**	**	**	**	**	34,8	12,5	28,5	0	0	34,8
1981	0	0	**	**	61,4	47	36,4	37	17,5	**	0	0	61,4
1982	0	0	1,7	1,8	37,7	21	22	16,5	24,3	4	0	0	37,7
1983	0	0	0	0	0	0	36	52,5	20,6	0	0	0	52,5
1984	0	0	0	0	8	7,6	26	13,8	14,4	38,5	0	0	38,5
1985	0	0	0	0	0	10	26,3	28,5	3,4	1	0	0	28,5
1986	0	0	0	0	15,3	28	18,9	34,5	8,5	14,1	0	0	34,5
1987	0	0	0	0	0	14	46,7	23,1	26,7	0	0	0	46,7
1988	0	0	0	10	0	2	14,1	30,8	12,1	0	0	0	30,8
1989	0	0	5,7	0	3,6	6,6	31,7	49,5	24	0	0	0	49,5
1990	0	0	0	1,8	6	25,8	25,6	38,1	16,5	**	**	**	38,1
1991	0	0	0	0	18	43,5	52,5	43,5	29	40,2	0	0	52,5
1992	0	0	0	0	1,5	16	17,5	29,3	16	5,6	21,8	0	29,3
1993	0	0	0	0	0	12,1	18,9	*	**	**	**	**	18,9
1994	0	0	0	**	36,2	17	32,9	53	41,5	20,2	0	0	53
1995	0	0	0	10,1	2,4	34,3	38,8	36,9	20,8	0	0	0	38,8
1996	0	0	0	1,4	27	20	17,7	24,7	28,8	18,6	4,5	0	28,8
1997	0	0	0	5,2	5,4	17,4	37,2	23,2	41	10,4	0	0	41

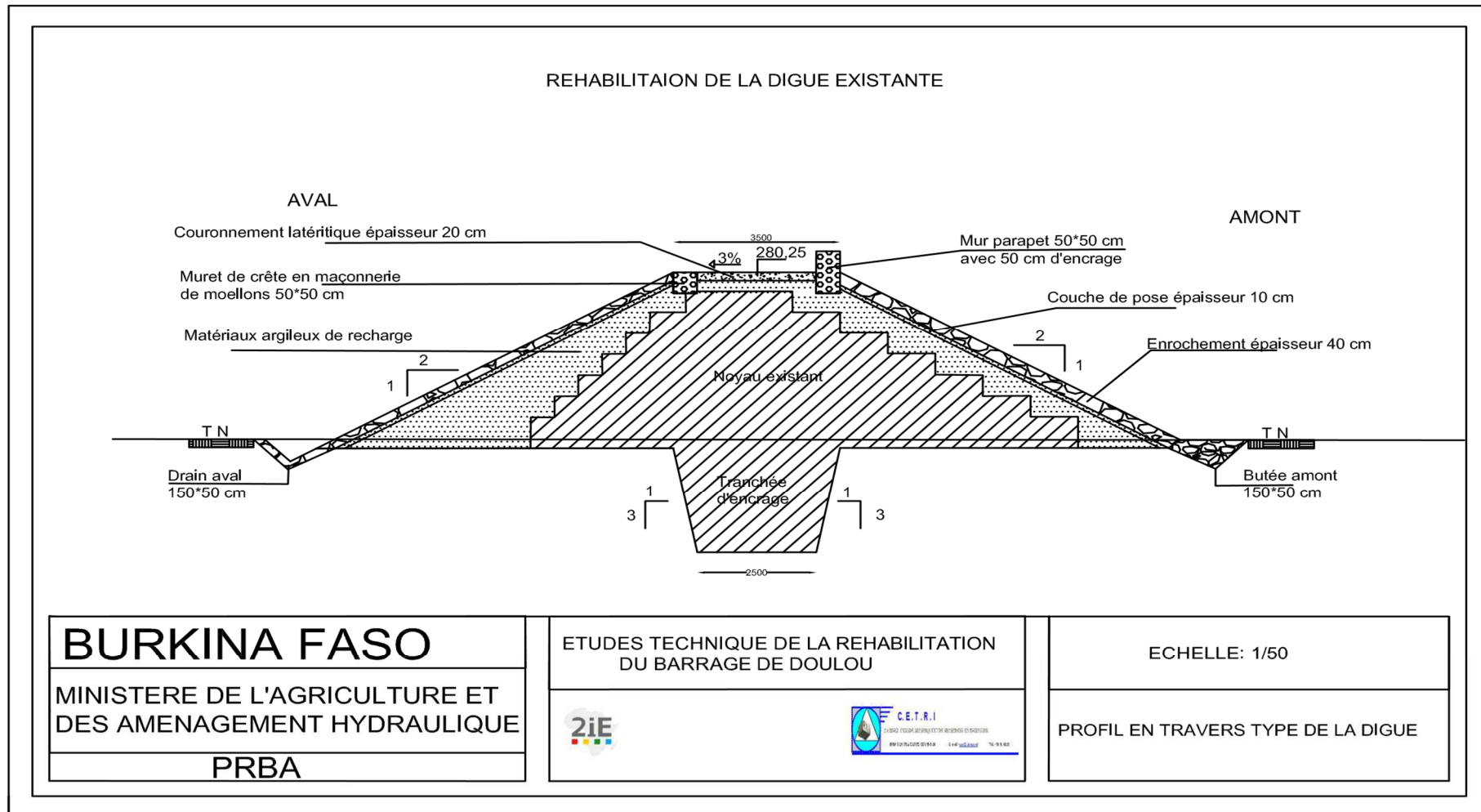
Etudes techniques détaillées de la réhabilitation du barrage de Doulou

1998	0	0	0	0	5,8	24,2	39,4	41,6	42,4	18,4	0	0	42,4
1999	0	0	0	0	8	6	46	38,6	16,4	24,2	0	0	46
2000	0	0	0	7,8	6,2	13,8	27,6	21,3	22,4	17,2	0	0	27,6
2001	0	0	0	0	12,4	44	51,6	39,6	31,6	1,6	0	0	51,6
2002	0	0	0	0,9	9,8	40	32,4	42,4	20,4	20,4	T2	0	42,4
2003	0	0	8,4	0	16	78,8	18,4	47,4	36,4	7,2	0	0	78,8
2004	0	0	0	8,4	-	-	19,7	25,7	40	0	0	0	40
2005			3,4	8,6	12,4	39,4	-	-	-	-	0	0	39,4
2006					5,4	15,4	18	115,8	29,4	3,2	0	0	115,8
2007							43,8		18,9	4,2	0	0	43,8
2008					5,3	25,7	45	30,4	30,2	46	0		46
2009		2,8	7,8	9,3	15,4	57	46,8	34,6	87,1	13,4			87,1
2010				44	30,5	15,8	32,1	56,8	71	12,6			71
2011					12,5	30,2	70,5	41,9	23	11,3			70,5
2012		1,9		22,4	31,1	19,6	40,5	64,8	32,7	13	20,7		64,8
Max	0	7,5	8,4	44	61,4	78,8	76,5	115,8	87,1	51,8	21,8	0,7	115,8

ANNEXE 3 : Plan de masse



ANNEXE 4 : Plan de réhabilitation de la digue

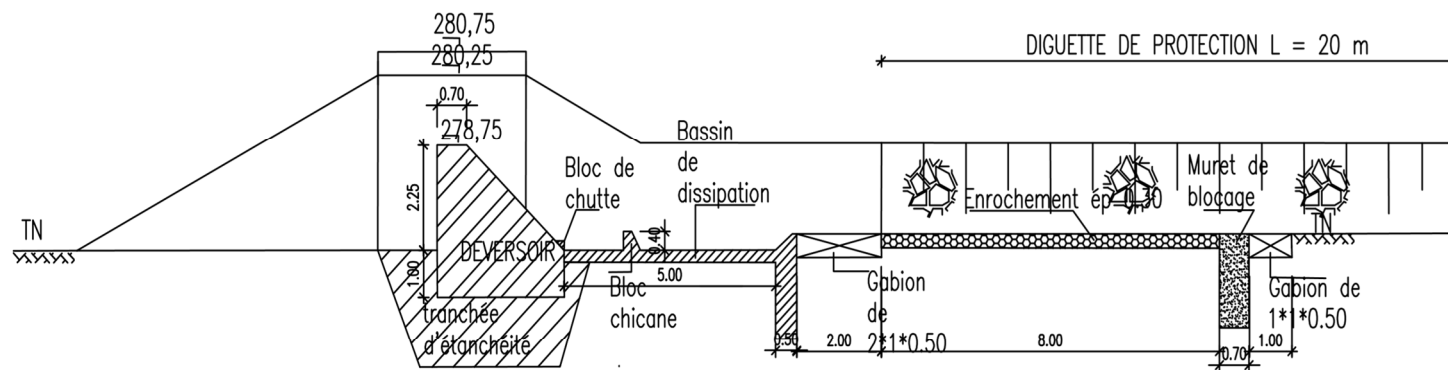


ANNEXE 5 : Simulation de La retenue

Exploitation de la retenue													
Périodes	Début période		Evaporation			Infiltration			Humains	Irrigation	Pastoralisme	Fin de période	
	niveau	Volume	Hauteur d'eau évaporée (mm)	Nouveau niveau	Volume corresp. (m3)	Hauteur d'eau infiltrée	Nouveau niveau	Volume corresp (m3)	Volume prélevé	Volume consommé	Volume consommé	Volume	Niveau
Novembre	278,75	2021240,00	185,16	278,56	1672669,53	45,00	278,52	1587955,05	626,18	12436,39	539,55	1574352,93	278,51
Décembre	278,51	1574352,93	189,08	278,32	1300384,79	46,50	278,28	1234450,48	647,06	24287,18	539,55	1208976,69	278,26
Janvier	278,26	1208976,69	195,34	278,06	931991,93	46,50	278,02	866057,63	647,06	27394,93	557,54	837458,10	278,00
Février	278,00	837458,10	205,05	277,79	641848,82	42,00	277,75	601781,57	584,44	25514,03	1007,16	574675,94	277,72
Mars	277,72	574675,94	231,45	277,49	359099,16	46,50	277,44	336262,54	647,06	24590,74	1079,10	309945,65	277,39

ANNEXE 6 : Coupe de l'évacuateur de crue

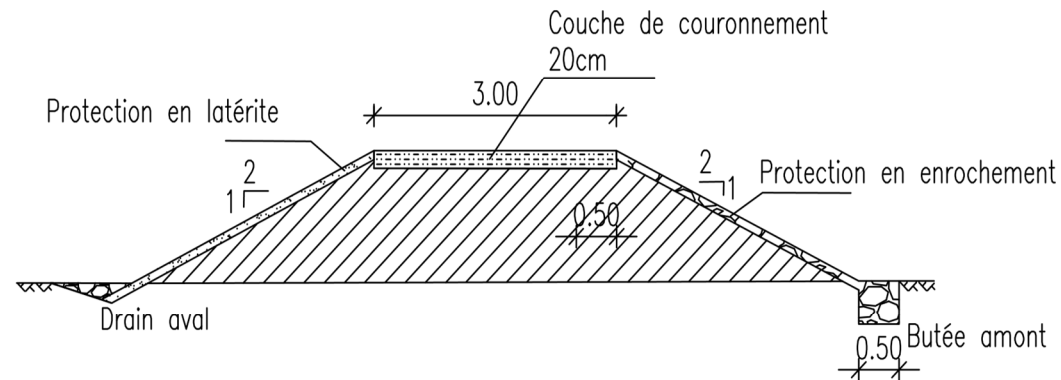
PROFIL EN TRAVERS DE L'EVACUATEUR DE CRUE



BURKINA FASO MINISTRE DE L'AGRICULTURE ET DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUE PRBA	ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DE LA REHABILITATION DU BARRAGE DE DOULOU  	ECHELLE 1/100 PROFIL EN TRAVERS TYPE DE L'EVACUATEUR DE CRUE
--	--	--

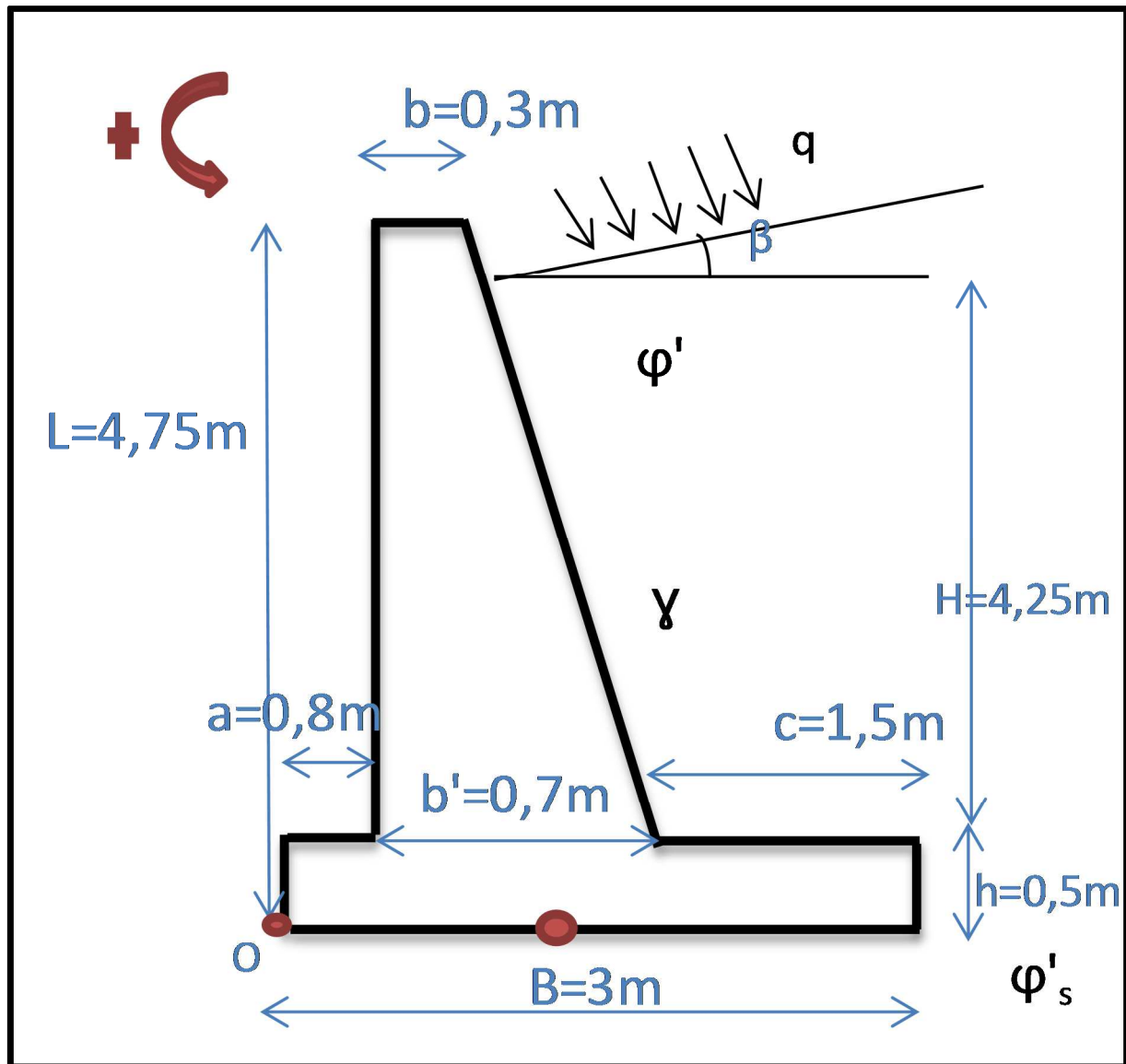
ANNEXE 7 : Diguette de protection

PROFIL EN TRAVERS DE LA DIGUETTE DE PROTECTION



BURKINA FASO	ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DE LA REHABILITATION DU BARRAGE DE DOULOU	ECHELLE 1/100
MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUE	 	PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA DIGUETTE DE PROTECTION
PRBA		

ANNEXE 8 : Mur bajoyer



ANNEXE 9 : Devis estimatif du projet

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire FCFA	Prix total FCFA
100	Amenée et repli du matériel, installation du chantier				
101	Amenée et repli du matériel	FF	1	25 000 000	25 000 000
102	Installations du chantier	FF	1	17 000 000	17 000 000
	Sous Total 100				42 000 000
200	Digue				
201	Débroussaillage et décapage des talus amont et aval avec abattage d'arbres et mise en dépôt des produits hors de l'emprise des ouvrages	m2	4 128	500	2 064 000
202	Déblai aux engins pour taillage en redans de la crête et des talus de la digue existante	m3	2 583	2 500	6 457 500
203	Déblai provenant du tallage des talus amont et aval en redans de la digue	m3	2064	5 000	10 320 000
204	Rechargement des talus amont et aval en matériaux argileux compactés	m3	10 621	6 000	63 726 000
205	Couche de couronnement latéritique compacté pour crête	m3	495	8 000	3 960 000
206	Couche de pose en remblai latéritique de 10 cm sur les talus amont et aval	m3	718	3 500	2 513 000
207	Perré sec sur talus amont et talus aval	m²	6 528	8 000	52 224 000
208	Enrochement à la main pour butée et drain y compris déblai	m3	541	10 000	5 410 000
209	Enrochement à la main pour mur de crête aval	m3	147	10 000	1 470 000

210	Maçonnerie de moellons pour muret parapet	m3	181	15 000	2 715 000
211	Tuyau PVC D50 pour barbacanes pour mur parapet	ml	144	2 500	360 000
	sous total 200				151 219 500
300	Déversoir				
301	débroussaillage et décapage de l'emprise du déversoir et du bassin de dissipation sur une longueur de 100 m à l'aval	m²	415	500	207 500
302	Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	400	4000	1 600 000
303	Remblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	400	5000	2 000 000
304	Déblai aux engins pour bassin de dissipation et chenal	m3	325	3 000	975 000
305	Mise en œuvre du déversoir poids en béton cyclopéen dosé à 350 kg/m3	m3	961,875	90 000	86 568 750
306	Déblai pour semelles bajoyers et ancrage du seuil	m²	95	4 000	380 000
307	Béton armé pour Murs bajoyers dosé à 350 kg/m3	m3	43,775	150 000	6 566 250
308	Joint water stop sur muret en BO sur déversoir	ml	10	45 000	450 000
309	Fourniture et pose de gabions métalliques posés 2*1*0,50 pour bassin de dissipation y compris déblai	m3	240	35 000	8 400 000
	sous total 300				107 147 500
400	Diguettes de protection				
401	Débroussaillage et décapage de l'emprise de la diguette en rive droite	m²	4 400	500	2 200 000

402	Remblais aux engins pour corps de diguette en rive droite	m3	2 160	6 000	12 960 000
403	Couche de couronnement de la crête en matériaux latéritiques	m3	144	7 000	1 008 000
404	Couche de pose sur le talus amont et talus aval	m3	80	7 000	560 000
405	Perré sec sur talus aval des deux diguettes	m2	805	8 000	6 440 000
406	Perré maçonné sur talus amont des deux diguettes	m2	805	12 000	9 660 000
407	Déblai à la main pour butée et drain de pied aval des deux diguettes	m3	90	4 000	360 000
	Enrochement à la main pour butée et drain de pied des deux diguettes	m3	90	10 000	900 000
	Sous total 400				34 088 000
500	Dispositif d'auscultation du barrage				
501	Echelle limnimétrique par unité de 1 m fabriquée en usine	ml	3	75 000	225 000
502	Implantation des bornes d'auscultation	Unité	2	50 000	100 000
	Sous total 600				325 000
	Total hors taxes, hors douane				334 780 000
	TVA (18%)				60 725 149
	TOTAL GENERAL TOUTES TAXES CONFONDUES				395 505 149

ANNEXE 10 : Impacts attendus sur le secteur socio – économique

Les principaux impacts attendus du projet sur le secteur socio – économique dont les composantes ont été abordées sont l'agriculture, l'élevage, la pêche-pisciculture, la foresterie, le commerce, peuvent être appréciés comme suit :

- **Secteur de l'agriculture**

C'est le secteur de l'irrigation qui connaîtra des impacts positifs à travers la réhabilitation du périmètre existant (15 ha) et l'aménagement du site d'extension (15 ha) soit au total trente (30) hectares de nouveaux périmètres : cette superficie permettra de réaliser 120 parcelles aménagées de 0,25 Ha au profit des populations.

Pour les populations des quatre (04) quartiers de Doulou, l'aménagement de périmètre irrigué en aval du barrage est par avance bien apprécié et fortement attendu.

Les principaux impacts agro – socio – économiques attendus de la mise en valeur des futurs aménagements hydro – agricoles peuvent être énumérés comme suit :

- **Lutte contre la pauvreté et promotion du secteur de l'Emploi (emplois ruraux notamment) :**

Par les opportunités économiques qu'offriront les aménagements de périmètres envisagés. En effet, à l'instar des hommes (chefs de ménage), le projet facilitera l'accès des couches les plus défavorisées (femmes et jeunes) aux parcelles aménagées pour développer des activités d'irrigation dans des filières agricoles « porteuses » ;

- **Impulsion d'une véritable dynamique en organisation des producteurs :**

Il résultera de l'organisation des producteurs dans le contexte de l'irrigation (mise en place d'un comité d'irrigants, de groupements maraîchers dans les filières « porteuses », d'une coopérative maraîchère et rizicole) attendue au rang des actions prioritaires à mener dans le cadre du projet ;

- **Renforcement des capacités techniques et matérielles des producteurs:**

Pour atteindre ses objectifs et « impacter le secteur de l'irrigation », il est recommandé que le projet procède à l'élaboration d'un programme de renforcement des capacités techniques et matérielles des producteurs axé sur leurs véritables besoins dans les filières à promouvoir sur site.

La formulation d'un tel programme s'avère de tout point de vue indispensable dans la mesure où les populations agricoles aspirant aux parcelles aménagées n'ont pas d'expériences confirmées en agriculture irriguée.

Ce programme gagnerait à mettre l'accent sur :

- les formations techniques spécifiques en agriculture ;
- les techniques de production ;
- la gestion de l'eau ;
- la gestion de la fertilisation des sols et des cultures ;
- les techniques post-récolte ;
- la facilitation de l'accès aux facteurs de production (intrants, équipement, etc.)
- la facilitation de l'accès aux crédits agricoles ;
- la promotion des bonnes pratiques agricoles afin de prévenir les phénomènes d'envasement et d'ensablement du barrage.

– **Valorisation des productions :**

Les actions de valorisation intégreront la collecte, le conditionnement, la transformation, la conservation et la commercialisation des produits de l'irrigation : chacune de ces actions constituent en soi un très vaste tremplin de mobilisation, d'organisation des acteurs locaux et de promotion des emplois ruraux en leur faveur.

En effet, c'est à travers le segment « Valorisation des productions » que les impacts agro – socio – économiques du projet sur le développement local s'avèrent par avance accrus voire amplifiés comme l'attendent d'ailleurs la quasi – totalité des acteurs du milieu à travers des créations de, microentreprises, groupements, d'une coopérative dans le secteur de l'agro – transformation et, la construction, la promotion et la dynamisation d'un marché de légumes à Doulou.

– **Appui en infrastructures de soutien à la production :**

Les mesures d'accompagnement des activités agricoles inscrites dans le cadre du projet coïncident parfaitement avec les besoins réels des producteurs en général et des irrigants en particulier.

Elles impacteront considérablement les réalités agro – économiques comme suit :

1. Réduction des pertes post – récoltes à travers la réalisation des aires de séchages des céréales (maïs, riz) et de battage du riz ;

2. Amélioration des conditions de stockage et de conservation durable des récoltes par la construction d'un magasin de stockage de 100 Tonnes ;
3. Facilitation de l'accès aux intrants homologués (fertilisants et produits phytosanitaires) par leur stockage dans le magasin de stockage : le magasin de stockage prévu sera compartimenté de manière à offrir un cadre de stockage des intrants ;
4. Amélioration des conditions de commercialisation/enlèvement des produits et d'approvisionnement des producteurs en facteurs de production grâce à la réalisation de la voie d'accès au site.

- **Secteur de l'élevage**

Sur le plan socio – économique, le secteur de l'élevage sera très sensiblement impacté par les actions du projet dans les principaux segments dont, l'élevage agro – pastoral conduit par les communautés villageoises, l'élevage pastoral sédentarisé conduit par les professionnels « peuhls », l'élevage transhumant conduit par les bergers en provenance des différents horizons énumérés dans ce rapport, et le petit élevage villageois exercé dans les filières d'embouches bovine, ovine, caprine, porcine et l'aviculture.

En effet, les trois volets du pastoralisme énumérés bénéficieront spécifiquement, de meilleures conditions durables d'abreuvement et de conduite des troupeaux grâce à la réhabilitation du barrage, à la réalisation des tous premiers points à vocation purement pastoral dans la zone et à la réalisation de pistes d'accès à l'eau par le bétail.

Par rapport à la situation de référence, il s'agira d'importantes innovations que les éleveurs sédentarisés apprécient, par avance, à plus d'un titre et qui fortifient à n'en point douter leur attachement et adhésion à ce projet.

Il est opportun de mentionner un véritable attachement psychologique des agropasteurs et éleveurs sédentarisés au PRBA : selon eux, ses axes d'intervention en faveur de l'élevage viendront réaliser de profondes aspirations qu'ils n'auraient jamais pu réaliser par leurs propres forces.

Si ces impacts attendus sont positifs voire stimulants, il conviendrait également d'être suffisamment prévoyant par des mesures très strictes de protection et de gestion durable du barrage car sa réhabilitation ainsi que la réalisation d'ouvrages d'hydraulique pastorale vont davantage rendre plus attractif le site du projet et y amplifier l'affluence des troupeaux transhumants.

- **Secteur des Pêche et pisciculture**

L'intérêt accordé au secteur des pêches par le projet (une étude sectorielle est conduite à cet effet) s'avère assurément comme une opportunité pour valoriser le potentiel halieutique du barrage.

La mise en œuvre du volet pêche/pisciculture du projet contribuera assurément à impulser une véritable dynamique à cette filière par, l'organisation des pêcheurs et leur formation en techniques spécifiques de pêche et, l'introduction et le développement de la pisciculture.

Eu égard aux attentes des jeunes et leur engouement pour la pêche, il va sans dire qu'ils sont prédisposés à en faire un véritable tremplin économique et par là, de création d'emplois.

- **Secteur de l'agro-transformation**

Les investigations permettent de situer les activités d'agro – transformation au cœur des préoccupations des femmes de Doulou. En effet, une de leurs principales requêtes à l'endroit du PRBA est de les accompagner à les développer comme activités génératrices de revenus substantiels susceptibles d'impacter positivement leurs conditions de vie.

La mission adhère pleinement à cette vision et encourage le projet à formuler des mesures d'accompagnement au profit des femmes.

Ces mesures qui seront en lien avec l'irrigation, la gestion des ressources naturelles, la protection des berges (choix déjà exprimés par les populations en faveur des espèces forestières dont le karité et le néré en plantation utiles autour du barrage) gagneraient à cibler, l'étuvage et le décorticage du riz paddy, le séchage des légumes, la transformation de l'arachide, la transformation des amandes de karité, la transformation des graines de néré.

Par ailleurs, les femmes ont manifesté leur intérêt pour la production, en jardinage et en protection des berges, du baobab et du moringa oléifère dont les feuilles et les graines seront transformés, auto – consommés et commercialisés.

- **Secteur du Commerce**

L'atteinte effective des résultats attendus de la mise en œuvre du projet produira assurément des impacts positifs sur le secteur du commerce à Doulou notamment dans le domaine de la collecte, du conditionnement et de la distribution des produits maraîchers, des produits agricoles et forestiers transformés.

En effet, la réhabilitation du barrage, les aménagements hydro – agricoles ainsi que la proximité de la ville de Koudougou élèveront Doulou au rang de village agricole péri – urbain émergent qui sera connecté aux réseaux de commerçants grossistes – distributeurs et des comptoirs d'achats de légumes à Koudougou.

Tous les villages entretenant des relations commerciales avec le village seront bien approvisionnés en produits vivriers localement produits.

- **Impacts attendus sur l'environnement et le cadre de vie**

Les impacts suivants attendus du projet sur l'environnement et le cadre de vie se situent dans une vision purement socio – économique : ceux relatifs aux aspects écologiques sont traités dans le volet d'études environnementales.

Ils intégreront, une meilleure organisation et structuration de l'espace agraire par le tracé, l'aménagement, le balisage des pistes d'accès à l'eau par le bétail et la formation de leurs usagers (bergers locaux et transhumants), une meilleure maîtrise des mouvements des troupeaux locaux et transhumants induisant de fortes diminutions voire l'éradication des conflits agriculteurs – éleveurs et meilleure sécurisation/protection des exploitations maraîchères sur site, la protection des berges par la délimitation et la mise en valeur de la bande de servitude en plantations utiles (manguiers, citronniers et moringa oleifera etc...) et, la facilitation de la mobilité sociale par la réalisation d'une piste d'accès aux périmètres aménagés.

- **Impacts attendus sur l'économie locale**

Les espoirs sont aujourd'hui sur le PRBA dont les résultats attendus de ses actions contribueront à faire de Doulou, un village émergent au niveau communal qui amorcera son envol économique grâce à ce projet.

De manière ciblée, les impacts positifs attendus sur les différentes réalités de l'économie locale sont en lien avec les secteurs de l'Emploi (emplois ruraux notamment) et du commerce agricole qui enregistreront des performances à travers, la mobilisation de bras valides (dont majoritairement les jeunes) sur les chantiers des travaux qui seront exécutés dans le cadre du projet, l'auto – emploi des jeunes maraîchers et pêcheurs en quête de formations en vue de leur professionnalisation, la promotion de l'entrepreneuriat féminin dans les secteurs de l'agro – transformation et du petit élevage dans les filières d'embouches porcine, ovine, bovine et de l'aviculture (volaille locale), l'émergence de nouveaux acteurs dont les pépiniéristes, les collecteurs locaux de produits agricoles et, la création d'un marché de fruits et légumes à Doulou.

Pour l'heure, l'enthousiasme des jeunes est porté aux possibilités d'initier un volet HIMO (Haute Intensité de Main d'œuvre) dans le cadre des travaux de réhabilitation du barrage et d'aménagement de périmètres. Les jeunes sont particulièrement intéressés par cette opportunité qui semble constituer visiblement pour eux une grande source de motivation et une raison de leur adhésion au projet.

- **Impacts attendus sur la santé des populations**

Les principaux impacts sanitaires suspectés dans le contexte de ce projet portent sur les risques de propagation des maladies sexuellement transmissibles (IST/VIH/SIDA) du fait du brassage de populations d'horizons divers (notamment la présence des manœuvres étrangers sur les chantiers) : ces risques sont d'ailleurs pris au sérieux dans le Plan de Gestion Environnemental et Social (PGES) élaboré qui comporte un volet Information/Sensibilisation sur le VIH/SIDA.

Par ailleurs, sur le plan de l'hygiène, de la santé et de la sécurité, d'autres impacts, non moins importants, suspectés du projet sont inhérents, aux nuisances (dégagement de fumée, bruits, vibrations et poussières), aux risques d'accidents susceptibles de se produire lors de la mise en œuvre des activités envisagées, aux pollutions diverses par les hydrocarbures, les déchets solides et liquides.

Force est également de prévoir (en anticipation) dans le contexte des futurs périmètres irrigués des impacts du projet sur le plan sanitaire : en effet, ces aménagements sont souvent à l'origine de certaines maladies hydriques liées à la stagnation des eaux et la bilharziose. D'une façon générale, les maladies liées à la présence de l'eau vont certainement voir leur prévalence augmenter là, où les conditions de stockage des eaux seront améliorées : il s'agit du paludisme, des bilharzioses, des maladies diarrhéiques.

L'augmentation de la production agricole visée par le projet pourrait contribuer à augmenter des maladies liées à l'eau et à des intoxications dues aux pesticides, si des dispositions spécifiques ne sont pas prises à temps : l'utilisation des pesticides n'est jamais sans risques pour la santé des populations.

L'exposition au pesticide peut avoir lieu pendant le travail, ou à travers la contamination de l'environnement ou des aliments (résidus dans l'eau ou dans les produits agricoles). Les personnes les plus exposés aux pesticides sont généralement les applicateurs très souvent mal protégés.

- **Impacts attendus sur les conditions de vie et le mieux – être des populations**

L'assemblée villageoise a exprimé de vive voix son souhait que le PRBA ne soit pas un « projet de plus ».

Aussi, attend – elle de lui d'importants impacts sur leurs conditions de vie et leur mieux – être qui devraient résulter de, la réalisation de forages additionnels demandés, la dotation de chaque quartier d'un moulin ou mieux d'une plateforme multifonctionnelle, le financement des micro – projets au profit des femmes et des jeunes et, l'alphabétisation des femmes.