



Etudes d'avant-projet détaillé (APD) pour la réhabilitation du barrage de Zoungou dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC
GRADE DE MASTER
SPECIALITE : GENIE DE L'EAU, DE L'ASSAINISSEMENT ET DES
AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES

Donatella Olga Palingwende GUIRE

Directeur de mémoire : Dr. FOWE TAZEN, MA CAMES, Enseignant-Chercheur, 2iE

Maître de stage : Mr. Gervais O. BALKOULGA, Chef de projets AGETEER

Structure(s) d'accueil du stage : Agence d'Exécution des Travaux Eau et Equipements Rural
(AGETEER)

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr. Yacouba KONATE, MC CAMES

Membres et correcteurs : M. Rodrigues WALBEOGO

M. Moussa LO

Promotion [2023/2024]



Dédicaces

Je dédie ce travail :

- A mon père pour le soutien moral et financier
- A ma mère pour les différents encouragements, le soutien moral et ses prières.
- A toute ma famille et mes amies pour leurs soutiens de diverses formes.

Remerciements

J'adresse mes sincères remerciements à :

- A l'ensemble du personnel administratif et professoral de l'institut 2iE, notamment à tous ceux qui ont contribué à ma formation ;
- Je remercie mon directeur de Mémoire, Dr FOWE TAZEN, Maître-Assistant (CAMES), Enseignant-chercheur en qui a su se rendre disponible pour m'encadrer malgré son emploi du temps chargé ;
- A mon encadreur de stage au niveau de l'entreprise Mr. BALKOULGA O. Gervais Ingénieur hydraulique-assistant du chef de Service Barrages de l'AGETEER qui malgré son emploi du temps chargé, a toujours su consacrer du temps pour répondre à mes préoccupations et m'apporter du suivi ;
- Monsieur YELEMOU August Directeur Général de l'AGETEER de m'avoir donné l'opportunité de réaliser mon stage dans sa structure ;
- Monsieur KAKORE Mathieu, Directeur de la direction technique de l'AGETEER pour m'avoir accueilli au sein de ses partenaires ;
- Monsieur KONATE Roland, Chef de Service Barrages et Aménagement de l'AGETEER, de m'avoir fait profiter de ses connaissances et expériences dans le domaine des barrages ;
- A l'ensemble du personnel de l'AGETEER, pour l'accueil et le soutien tout au long de mon stage.

Résumé

Pays sahélien et enclavé, le Burkina Faso est soumis à une pluviométrie généralement faible et mal répartie dans le temps et dans l'espace. Afin de résoudre les problèmes liés à l'eau, 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. Le barrage de Zoungou réalisé depuis 1993 fait partie du programme car il est dans un état de dégradation avancé. Afin de permettre à la population de reprendre la production agricole dans la commune, il est nécessaire de le réhabiliter. C'est dans ce cadre que s'est portée notre étude sur l'Avant-Projet Détaillé du barrage de Zoungou. Le diagnostic du barrage a révélé des dégradations majeures à savoir deux grandes ruptures au niveau de la digue en rive gauche, des trous profonds et érosions dans ces zones de rupture. Ce diagnostic a permis de mettre également en exergue des fissures et des fuites sur le déversoir actuel, une détérioration et un engorgement du bassin de dissipation. Partant des dégradations constatées sur l'ouvrage notre travail tentera de faire une proposition de réhabilitation dudit ouvrage. La solution proposée est une reconstruction totale du barrage avec un décalage de 50m de l'axe de l'ancien ouvrage vers l'amont. L'évacuateur de crue a été dimensionné avec une crue de projet de $184,21\text{m}^3/\text{s}$ qui a donné une longueur de déversoir de 89m. La conception de la digue a donné les caractéristiques suivantes : un type homogène en remblai argileux ; une longueur de 993m ; une largeur en crête de 4m ; un mur parapet de 50cm x 50cm sur la crête en amont pour palier à un risque possible de submersion par des crues extraordinaires. Un bassin de dissipation à ressaut de type USBR II a été proposé, dont le dimensionnement a donné une longueur de 4,5m. Le coût global des travaux s'élève à **un milliard trois cent quatre-vingt-treize millions cinq cent huit mille neuf cent trente-huit de FCFA (soit 1 393 508 938 FCFA) TTC** y compris la mise en œuvre des mesures environnementales (PGES).

Mots clés

- 1- **Digue homogène argileuse**
- 2- **Déversoir poids**
- 3- **Diagnostic**
- 4- **Etude de réhabilitation**
- 5- **Zoungou**

Abstract

Burkina Faso, a landlocked Sahelian country, is generally subject to low rainfall and is poorly distributed in time and space. In order to solve water-related problems, the Burkinabe government has undertaken a vast programme to mobilize and enhance water resources through the construction and rehabilitation of dams. The Zoungou dam, built in 1993, is part of the programme because it is in an advanced state of degradation. In order to allow the population to resume agricultural production in the commune, it is necessary to rehabilitate it. It is in this context that our study on the Detailed Preliminary Design of Zoungou dam was carried out. The diagnosis of the dam revealed major damage, namely two large ruptures in the dike on the left bank, deep holes and erosion in these rupture zones. This diagnosis also highlighted cracks and leaks on the current spillway, deterioration and siltation of the dissipation basin. Based on the damage observed on the structure, our work will attempt to make a proposal for the rehabilitation of the said structure. The proposed solution is a total reconstruction of the dam with a 50m offset from the axis of the old structure towards upstream. The spillway was sized with a design flood of 184.21m³/s which gave a spillway length of 89m. The design of the dike gave the following characteristics : a homogeneous type of clay backfill ; a length of 993m ; a crest width of 4m ; a parapet wall of 50cm x 50cm on the ridge upstream to compensate for a possible risk of submersion by extraordinary floods. A USBR II type dissipation basin with jump was proposed, the dimensioning of which gave a length of 4.5m. The overall cost of the work amounts to one billion three hundred and ninety-three million five hundred and eight thousand nine hundred and thirty-eight FCFA (i.e. 1,393,508,938 FCFA including tax), including the implementation of environmental measures.

Keywords

- 1- **Homogeneous clay**
- 2- **Weight weir**
- 3- **Diagnosis**
- 4- **Rehabilitation study**
- 5- **Zoungou**

Liste des abréviations

| | |
|------------------|--|
| 2iE : | Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement |
| AGETEER : | Agence d'Exécution des Travaux Eau et Équipement Rural |
| APD : | Avant-Projet Détaillé |
| BNDT : | Base Nationale de Données Topographiques |
| CIEH : | Comité Interafricain d'Études Hydrauliques |
| EIER : | École Inter-États d'Ingénieur de l'Équipement Rural |
| ETM : | Évapotranspiration Maximale |
| FAO : | Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture |
| Ig | Indice globale de pente |
| Kc : | Coefficient cultural |
| Kr10 | Coefficient de Ruissellement décennal |
| ORSTOM : | Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer |
| ODE : | Office de Développement des Églises Evangéliques |
| Pe : | Pluie efficace |
| PEN : | Plan d'Eau Normal |
| PHE : | Plus Hautes Eaux |
| PGES : | Plan de gestion environnemental et social |
| RGPH | Recensement général de la population et de l'habitat |
| MNT : | Modèle numérique de terrain |
| Tb10 | Temps de base de la crue décennale |
| Tm10 | Temps de montée de la crue décennale |
| TN : | Terrain Naturel |
| SRTM : | Schuttle Radar Topography Mission |
| UBT : | Unité de Bétail Tropical |
| USBR : | United States Bureau of Reclamation |

Table des matières

| | |
|---|------------|
| Dédicaces | I |
| Remerciements | II |
| Résumé | III |
| Abstract | IV |
| Liste des abréviations | V |
| Listes des tableaux | IX |
| Listes des figures | X |
| Liste des images | XI |
| Fiche technique de barrage de Zoungou | XII |
| I. Introduction | 1 |
| II. Objectifs du travail | 2 |
| II.1. Objectif général | 2 |
| II.2. Objectifs spécifiques..... | 2 |
| III. Présentation de la structure d'accueil | 2 |
| IV. Généralités sur la zone d'étude | 3 |
| IV.1 Localisation de la zone d'étude..... | 3 |
| IV.2. Caractéristiques du milieu physique | 4 |
| IV.2.1 Relief, sols et végétation | 4 |
| IV.2.2. Climat et hydrographie | 6 |
| V. Situation démographique et activités socio-économiques | 7 |
| V.1 Situation démographique | 7 |
| V.2 Activités socio-économiques..... | 8 |
| VI. Matériel et méthodes | 9 |
| VI.1 Matériels | 9 |
| VI.1.1 Données de l'étude | 9 |
| VI.1.2 Outils utilisés | 10 |
| VI.2 Méthodologie..... | 10 |
| VI.2.1 Recherche bibliographique et collecte de donnée | 10 |
| VI.2.2 Diagnostic du barrage de Zoungou | 11 |
| VI.2.3 Etudes hydrologiques..... | 11 |
| VI.2.3.1 Caractéristiques physiques et géomorphologiques du bassin de Zoungou | 11 |
| VI.2.3.2 Analyse fréquentielle des pluies..... | 14 |
| VI.2.3.3 Le débit de projet | 15 |
| VI.2.3.4 Etudes des apports liquides et solides | 18 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | |
|--|-----------|
| VI.2.4 Etudes de la retenue | 19 |
| VI.2.4.1 Courbe hauteur-volume et hauteur-surface..... | 19 |
| VI.2.4.2 Détermination de la côte du Plan d'Eau Normal (PEN) | 20 |
| VI.2.4.3 Détermination de la côte des Plus Hautes Eaux (PHE)..... | 20 |
| VI.2.4.4 Lame d'eau déversant | 20 |
| VI.2.4.5 Courbe d'exploitation de la retenue | 20 |
| VI.2.4.6 Estimation des besoins en eau | 21 |
| VI.2.5 Dimensionnement de la digue | 23 |
| VI.2.5.1 Détermination de la côte de la digue..... | 23 |
| VI.2.5.2 La largeur de la crête..... | 23 |
| VI.2.5.3 La largeur en base | 23 |
| VI.2.5.4 Revanche libre | 23 |
| VI.2.5.5 Pentés des talus de la digue..... | 24 |
| VI.2.5.6 Filtres et drains..... | 26 |
| VI.2.6 Ouvrages annexes | 27 |
| VI.2.6.1 L'évacuateur de crue..... | 27 |
| VI.2.6.2 Étude de Stabilité du déversoir | 30 |
| VI.2.6.3 Murs bajoyers..... | 32 |
| VI.2.6.4 Ouvrage de prise et de vidange | 32 |
| VI.2.6.5 Décret et méthode de réalisation de la notice d'impact environnementale et sociale .. | 32 |
| VI.2.6.6 Etude financière | 32 |
| VII. Résultats et discussions | 33 |
| VII.1 Etude diagnostic..... | 33 |
| VII.1.1 Digue | 33 |
| VII.1.2 Déversoir | 33 |
| VII.1.3 Bassin de dissipation | 34 |
| VII.1.4 Ouvrage de prise | 35 |
| VII.1.5 Diguette de protection et Chenal..... | 35 |
| VII.1.6 La Piste aval..... | 36 |
| VII.1.7 La cuvette | 36 |
| VII.2 Proposition de réhabilitation | 39 |
| VII.2.1 Réhabilitation de la digue | 39 |
| VII.2.2 Réhabilitation de l'évacuateur de crue | 39 |
| VII.2.3 Réhabilitation de l'ouvrage de prise | 40 |
| VII.3 Synthèse des études hydrologiques..... | 40 |

**Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune
de Zoungou au Burkina Faso**

| | |
|--|-----------|
| VII.3.1. Analyse fréquentielle des pluies | 40 |
| VII.3.2. Caractéristiques géomorphologiques et physiques du bassin versant du barrage de Zoungou..... | 41 |
| VII.3.3. Prédétermination des crues..... | 43 |
| VII.3.4. Etude de la retenue..... | 46 |
| VII.4. Proposition de conception du barrage réhabilité | 50 |
| VII.4.1. La digue | 50 |
| VII.4.2. L'évacuateur de crue..... | 51 |
| VII.4.3. Caractéristiques du bassin de dissipation | 53 |
| VII.4.4. Recalibrage du chenal | 54 |
| VII.4.5. Ouvrage de prise et de vidange | 54 |
| VII.4.6. Jonction digue déversoir | 55 |
| VII.5. Notice d'impacts environnementales et sociales | 56 |
| VII.5.1 Dispositif d'auscultation et surveillance du barrage..... | 56 |
| VII.5.2. Notice d'impacts environnementales et sociales | 56 |
| VII.6. Devis estimatif et quantitatif de la construction du barrage..... | 57 |
| VIII. Conclusion | 58 |
| IX. RECOMMANDATIONS..... | 59 |
| X. Bibliographie..... | 60 |
| IX. Annexes..... | 61 |
| Annexe 1 : étude du bassin versant | 61 |
| Annexe 2 : Besoins en eau..... | VI |
| Annexe 3 : Etudes de conception..... | XIII |
| Annexe 4 : Devis quantitatif et estimatif..... | XXXIII |
| Annexe 5 : Pièces graphiques..... | XXXVII |

Listes des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Paramètres de l'hydrogramme de crue | 17 |
| Tableau 2: Revanche minimal en fonction de la période de retour | 24 |
| Tableau 3: Pente des talus de la digue en fonction de la hauteur du barrage | 24 |
| Tableau 4: Valeurs caractéristiques de l'ajustement des données de pluies journalières maximales . | 40 |
| Tableau 5: Valeurs caractéristiques de l'ajustement des données de pluies maximales annuelles | 40 |
| Tableau 6: Valeurs des caractéristiques physiques et géomorphologiques du bassin versant de Zoungou..... | 42 |
| Tableau 7: Valeurs obtenus pour la crue décennal..... | 43 |
| Tableau 8: Valeurs obtenus pour la crue de projet | 44 |
| Tableau 9: Apports liquides en fonction des périodes de retour avec le bassin type de Ouagadougou I | 45 |
| Tableau 10: Valeurs des pertes par Infiltration et évaporation..... | 47 |
| Tableau 11: Résultats de l'estimation des besoins en eau | 48 |
| Tableau 12: Besoins en eau pour l'irrigation | 49 |
| Tableau 13: Résultats du calcul de laminage | 51 |
| Tableau 14: Caractéristiques du déversoir | 52 |
| Tableau 15: Résultat de l'étude de stabilité du déversoir | 52 |
| Tableau 16: Caractéristiques du bassin de dissipation | 53 |
| Tableau 17: Caractéristiques du mur bajoyer | 55 |
| Tableau 18: Synthèse du devis estimatif | 58 |

Listes des figures

| | |
|--|--------|
| Figure 1: Localisation du site du projet | 4 |
| Figure 2: Carte pédologique du bassin versant de Zoungou..... | 5 |
| Figure 3: Carte végétative du bassin versant de Zoungou | 6 |
| Figure 4: Carte hydrographique du bassin versant de Zoungou | 7 |
| Figure 5: Représentation de l'hydrogramme de crue | 18 |
| Figure 6: Illustration de la parabole de Kozeny..... | 26 |
| Figure 7: Principe de fonctionnement du bassin à ressaut..... | 29 |
| Figure 8: Carte de localisation du bassin versant du barrage de Zoungou | 41 |
| Figure 9: Courbe hypsométrique du barrage de Zoungou..... | 42 |
| Figure 10: Hydrogramme de crue | 45 |
| Figure 11: Courbe hauteur volume du barrage de Zoungou | 46 |
| Figure 12: Courbe hauteur surface du barrage de Zoungou..... | 47 |
| Figure 13: Courbe d'exploitation de la retenue | 50 |
| Figure 14: Stabilité de talus de la digue | 51 |
| Figure 15: Vue en coupe du mur de soutènement | 56 |
| Figure 16: Détermination de la lame d'eau écoulé bassin type de Ouagadougou I | V |
| Figure 17: Bilan des forces agissants sur le déversoir | XXIII |
| Figure 18: Illustration du mur de soutènement..... | XXV |
| Figure 19: Abaque de détermination de l'enfoncement D du bassin de dissipation..... | XXXI |
| Figure 20: Calcul des bassins de type USBR II | XXXII |
| Figure 21: Plan de ferrailage du bajoyer | XXXVII |

Liste des images

| | |
|---|----|
| Image 1: Développement de termitières sur la digue | 33 |
| Image 2: Vue d'ensemble des deux brèches de la digue et de l'érosion aval..... | 33 |
| Image 3: Affaissement du perré maçonné sur le déversoir | 34 |
| Image 4: Fissures sur le déversoir et fuites d'eau | 34 |
| Image 5: Détérioration des blocs de chute et blocs chicanes..... | 34 |
| Image 6: Absence de grille amont et conduite partiellement bouché..... | 35 |
| Image 7: Bac aval comblé de cailloux..... | 35 |
| Image 8: Diguette emporté par les eaux de crue..... | 36 |
| Image 9: Développement de ravine dans le chenal | 36 |
| Image 10: Dégradation de la piste jusqu'au dalot submersible..... | 36 |
| Image 11: La partie de la piste en rive gauche complètement rasée | 36 |
| Image 12: Développement de champs dans la cuvette | 37 |
| Image 13: Apparition de trous sous la digue..... | 39 |

Fiche technique de barrage de Zougou

| DESIGNATION | CARACTERISTIQUES AVANT REHABILITATION | CARACTERISTIQUES APRES REHABILITATION |
|--|--|--|
| LOCALISATION | | |
| Village | Zougou | Zougou |
| Commune | Zougou | Zougou |
| Province | Ganzourgou | Ganzourgou |
| Région | Plateau Central | Plateau Central |
| Coordonnées au droit du déversoir | Latitude : 12° 7'30.46"N; Longitude : 0°31'1.96"O | Latitude : 12° 7'30.46"N; Longitude : 0°31'1.96"O |
| Distance de Zorgho | 27 km | 27 km |
| Distance de Ouagadougou | 137 km | 137 km |
| BASSIN VERSANT | | |
| Superficie | 180 km ² | 180 km ² |
| Périmètre | - | 76 km |
| Pluie annuelle moyenne (Pan) de 1955 à 2021 | - | 771 mm |
| Débit de crue décennale | - | 46,51 m ³ /s |
| Débit de crue de projet (centennale) Q ₁₀₀ | - | 184,21 m ³ /s |
| Apport liquide en moyenne | - | 4 050 000 m ³ |
| Apports solides moyenne | - | 28 068,19 m ³ /an |
| RETENUE D'EAU | | |
| Cote au PEN | 271,10 m | 274,20 m |
| Capacité au Normale | 4 281 886 m ³ | 4 800 000 m ³ |
| Superficie inondée au PEN | 275,27 ha | 284,23 ha |
| Cote au PHE | 275,30 m | 275,40 m |
| Capacité au PHE | 9 035 000 m ³ | 9 173 000 m ³ |
| Superficie inondée au PHE | 414,3 ha | 423,54 ha |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|--|---|---|
| Longueur totale du barrage | 1002 m | 993 m |
| DIGUE | | |
| Type | Homogène en matériaux argilo-sablonneux | Homogène en terre compactée à 98% OPN |
| Cote de calage | - | 276,00 m |
| Longueur | 993 m | 993 m |
| Largeur en crête | 4,5 m | 4,00 m |
| Pente du talus amont | 1V/2H | 1V/2H |
| Pente du talus aval | 1V/2H | 1V/2H |
| Protection du talus amont | Perré sec | Perré sec épaisseur 50cm |
| Protection du talus aval | Perré sec | Perré sec épaisseur 20cm |
| Hauteur de la digue | 6,5 m | 7 m |
| Mur parapet | Maçonnerie de moellons | Béton cyclopéen |
| Cote calage du Mur parapet | - | 276,50 m (en Amont) |
| Mur de crête aval | Maçonnerie de moellons | Maçonnerie de moellons |
| Système de drainage des eaux de la crête | - | Descente d'eaux, cunette 30cmx13cm tous les 20 mètres |
| ÉVACUATEUR DE CRUE | | |
| Nombre | 01 | 01 |
| Position | Semi-centrale | Semi-Centrale |
| Type | Poids en béton cyclopéen | Poids en béton cyclopéen |
| Cote de calage | - | 274,2 m |
| Longueur totale | 80 m | 89 m |
| Bassin de dissipation | USBR II | USBR type II |
| Longueur du bassin de dissipation | 4,1 m | 4,5 m |
| OUVRAGE DE PRISE | | |
| Nombre | | 01 |
| Position | Rive gauche | Rive gauche |
| Cote de calage entrée bac amont | - | 271,5 m |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Conduite | Fonte ductile DN500 | Fonte ductile de DN500 |
| OUVRAGE DE VIDANGE | | |
| Nombre | - | 01 |
| Position | - | Rive gauche |
| Type de commande | - | Robinet vanne aval de DN500 |
| Cote de calage entrée bac amont | - | 271,20 m |
| Conduite | - | Fonte ductile de DN500 |

I. Introduction

L'eau est fragile, elle est une ressource rare et limitée dans le temps et dans l'espace. Elle est indispensable et non substituable [1]. Elle est d'autant plus précieuse en Afrique de l'Ouest notamment dans les pays sahéliens où le changement climatique est d'autant plus ressenti avec l'avancée du désert, et d'autres facteurs comme la démographie galopante, les mauvaises stratégies de gouvernance, etc [1]. Sécuriser cette ressource apparaît alors nécessaire afin de maintenir son accessibilité aux populations pour leurs usages à vocation différentes.

En effet, le Burkina Faso pays sahélien a un climat variable, avec peu de précipitations et une répartition temporelle et spatiale inégale. Il est un pays dont l'activité économique est principalement basée sur l'agriculture, qui emploie 82% de la population active [2]. A travers un programme massif de mobilisation de l'eau, l'état burkinabè s'est engagé dans la reconstruction et la réhabilitation du parc de barrages vétustes. Ce programme a pour but d'améliorer le rendement agricole pour atteindre l'objectif de la sécurité alimentaire et de lutte contre la pauvreté en zones rurales.

A cet effet, le ministre de l'eau en 2021 déclarait que sur 1100 barrages existants au Burkina Faso, 40% étaient en état de dégradation très avancé, 50% en état de dégradation avancé et seulement 10% sont en bon état [3]. Cela pourrait s'expliquer par le vieillissement du parc de barrages, les défaillances dans la conception et la réalisation de certains ouvrages, etc.

C'est face à ce constat que le Ministère en charge de l'Eau et de l'Assainissement MEA a envisagé la réhabilitation/reconstruction de certains ouvrages, prévu au titre de l'année 2022 dont la maîtrise d'ouvrage déléguée a été confié à l'AGETEER. Parmi ces barrages, figure celui de Zoungou dont la digue a cédé en 2021 suite à une forte pluie, et du fait de ses multiples dégradations.

C'est dans ce cadre que nous avons mené notre étude pour le mémoire de fin de cycle master, dont l'objectif global est de réaliser une étude d'avant-projet détaillé (APD) pour la réhabilitation du barrage de Zoungou. Notre travail sera articulé comme suit : présentation de la zone et du contexte du projet ; description des approches, moyens et méthodes utilisés pour collecter les données ; conception des ouvrages et synthèse du dimensionnement ; formulation des recommandations.

II. Objectifs du travail

II.1. Objectif général

De façon globale l'objectif de cette étude est d'élaborer un Avant-Projet Détaillé APD (mémoire technique) de réhabilitation du barrage de Zoungou et ce, afin de satisfaire durablement les besoins des usagers. Il est question donc de proposer des solutions techniques de réhabilitation afin de contribuer à l'amélioration du cadre de vie des populations locales. Cela leur permettra de reprendre l'exploitation des aménagements hydro-agricoles et d'en augmenter la capacité.

II.2. Objectifs spécifiques

Le projet défini devra être techniquement bien adapté à la réalité de la zone. De plus, il est indispensable que le projet de réhabilitation soit en accord avec les décisions de la commune et l'organisation des villageois. Pour cela, l'objectif global cité plus haut se décline en plusieurs objectifs spécifiques qui sont :

- Étudier et concevoir la réhabilitation des ouvrages en palliant les insuffisances techniques et organisationnelles constatées ;
- Étudier et proposer les techniques à mettre en œuvre pour permettre le bon fonctionnement de l'ensemble des ouvrages projetés et de lutter contre le comblement de la retenue par ensablement.

III. Présentation de la structure d'accueil

L'Agence d'Exécution des Travaux Eau et Équipement Rural (AGETEER), créée par le décret n°2009-046/PRES/PM/MEF/MAHRH/MCPEA du 17 février 2009 (Décret de gestion AGETEER, 2009), est une société publique d'Etat. Elle est dotée d'un conseil d'administration régi par les dispositions de l'Acte Uniforme Relatif au Droit des Sociétés Commerciales et des Groupements d'intérêt économique du 17 avril 1997. Cet acte est défini par la loi n°025-99/AN du 16 novembre 1999 REGLEMENTATION GENERALE DES SOCIETES A CAPITAUX PUBLICS. Elle jouit d'une totale autonomie de gestion et fonctionne conformément aux règles et principes du secteur privé. Son capital social est de 413 200 000 francs CFA, divisé en 41 320 actions entièrement libérées détenues par l'État du Burkina Faso [4].

La priorité de l'agence est d'assurer la construction d'ouvrages d'eau et d'équipements ruraux de qualité dans des conditions de coûts et de délais optimales. L'agence se doit également de

fournir une assistance technique adaptée aux besoins des populations et des entreprises qui œuvrent dans le secteur pour le compte de l'Etat ou de bailleurs de fonds public et privé.

Son siège social est situé à Ouagadougou à l'adresse suivante : 930, Angle Rue Zuug-Siiga et rue ZAD Secteur 30, 01 BP 6643 OUAGADOUGOU 01. Il est sous la tutelle technique du ministère en charge de l'Eau et la tutelle financière du ministère chargé des finances.

Le principe de base de l'intervention de l'agence étant principalement le « faire-faire », ses principaux prestataires sont donc : des bureaux d'études pour l'étude et la maîtrise d'œuvre, des consultants pour le conseil en gestion d'audit, des entreprises pour l'exécution des travaux et la fourniture des équipements et matériels de prestation. La relation entre l'agence et ses prestataires repose sur un contrat, un marché ou une convention.

IV. Généralités sur la zone d'étude

IV.1 Localisation de la zone d'étude

Zoungou est un village et chef-lieu de la commune rurale de Zoungou. Il est situé dans la province du Ganzourgou, dans la région du Plateau Central. Cette commune est limitée :

- À l'Est par la commune de Koupéla
- À l'Ouest par la commune de Boudry
- Au Nord par la commune de Zorgho
- Et au Sud par les communes de Dialgaye et Garango

L'accès au site se fait par la Route Nationale RN04 : axe Ouaga - Zorgho sur une distance de 110 km jusqu'à Zorgho puis on continue sur une distance de 14 km sur le même axe jusqu'au Carrefour Zoungou. À partir du carrefour, on emprunte la RD51 sur la droite, une route en terre sur une distance de 9 km jusqu'à la mairie et puis on emprunte sur la gauche une piste rurale sur 4 Km jusqu'au site du barrage qui se trouve sur la gauche. On peut également accéder au site par les coordonnées géographiques qui sont $12^{\circ} 7'30.46''$ en latitude nord et $0^{\circ}31'1.96''$ en longitude ouest.

Le village de Zoungou est composé de six (6) quartiers qui sont : Natenga, Nakomsin, Gandaoghin, Marinsin, Pighin et Zakin.

La figure 1 représente la localisation de la commune.

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

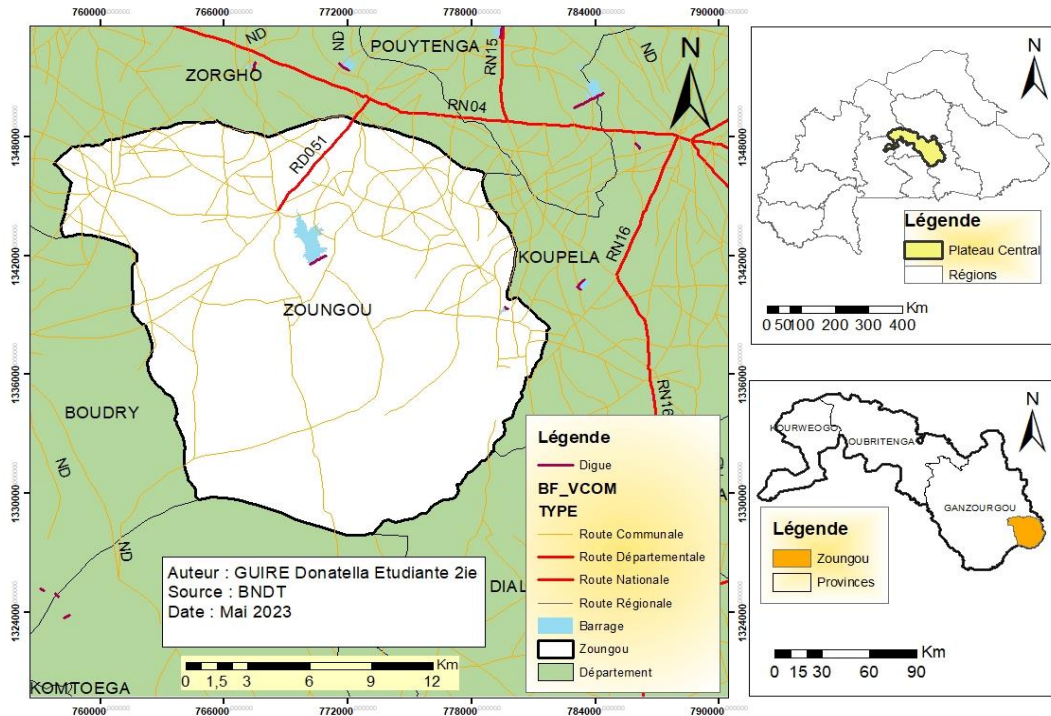


Figure 1: Localisation du site du projet

IV.2. Caractéristiques du milieu physique

IV.2.1 Relief, sols et végétation

Le village de Zoungou partage le même milieu physique que celui de la commune.

- **Relief**

La commune est située sur une pénéplaine légèrement ondulée par endroits. Elle est parsemée de bas-fonds et de collines. Les basfonds sont donc favorables à la production agricole (surtout le riz) et il serait important de travailler à ce qu'ils soient rentables par le moyen des aménagements. Et le projet de réhabilitation du barrage s'inscrit dans cette logique.

- **Sols**

Dans la commune de Zoungou, on rencontre trois types de sols¹. Il s'agit des :

- Sols argileux : ces sols sont favorables à la culture du sorgho, du maïs, du riz, etc. C'est le type de sols prédominant dans les environs de la zone d'influence du barrage comme dans le village de Paspanga, en aval, ainsi que dans les bas-fonds ;
- Sols gravillonnaires sont plus localisés au sud-est de la commune de Zoungou. Les producteurs y pratiquent la culture de l'arachide, du petit mil et du sésame ;
- Sols sablonneux sont plus situés au nord et nord-est de la commune. De façon générale, les sols de la commune, en général et ceux de Zoungou village en particulier, sont très

dégradés et deviennent de plus en plus pauvres. Cette pauvreté du sol se fait ressentir par des rendements de plus en plus faibles des productions agricoles. Il faut donc trouver des alternatives afin d'accroître la production agricole dans la zone et lutter ainsi contre l'insécurité alimentaire.

La figure 2 présente les différents types de sols rencontrés dans le bassin versant de Zougou.

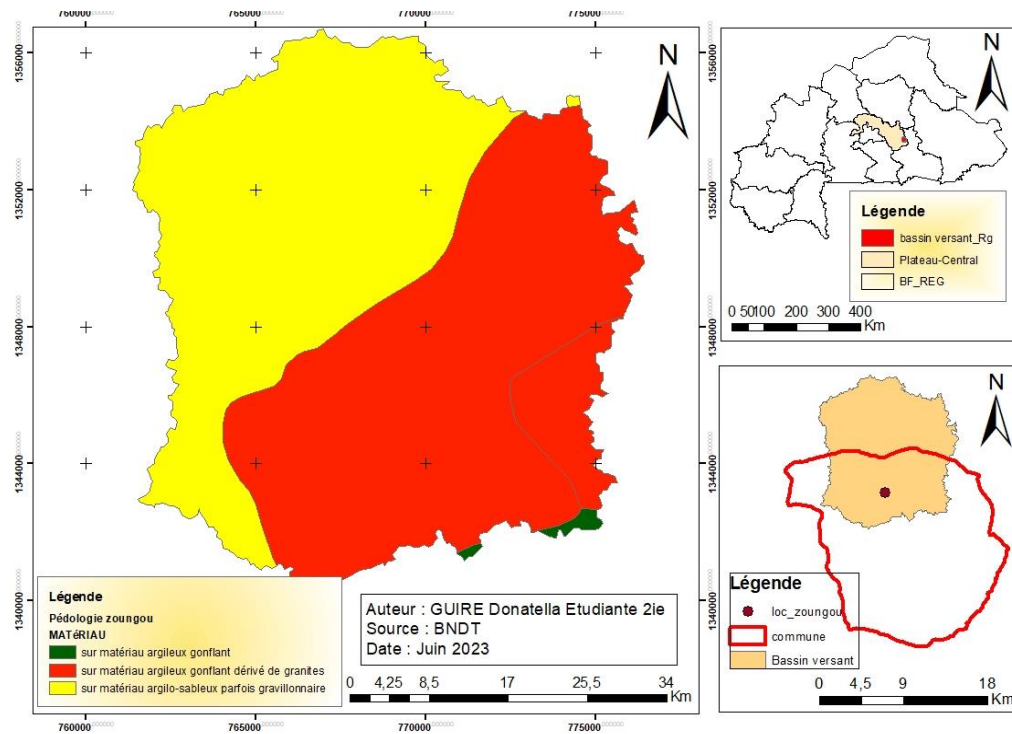


Figure 2: Carte pédologique du bassin versant de Zougou

• Végétation

La végétation du bassin versant de Zougou est du type de la savane arborée à arbustive. Nous le présentons sur la figure 3.

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zougou, dans la commune de Zougou au Burkina Faso

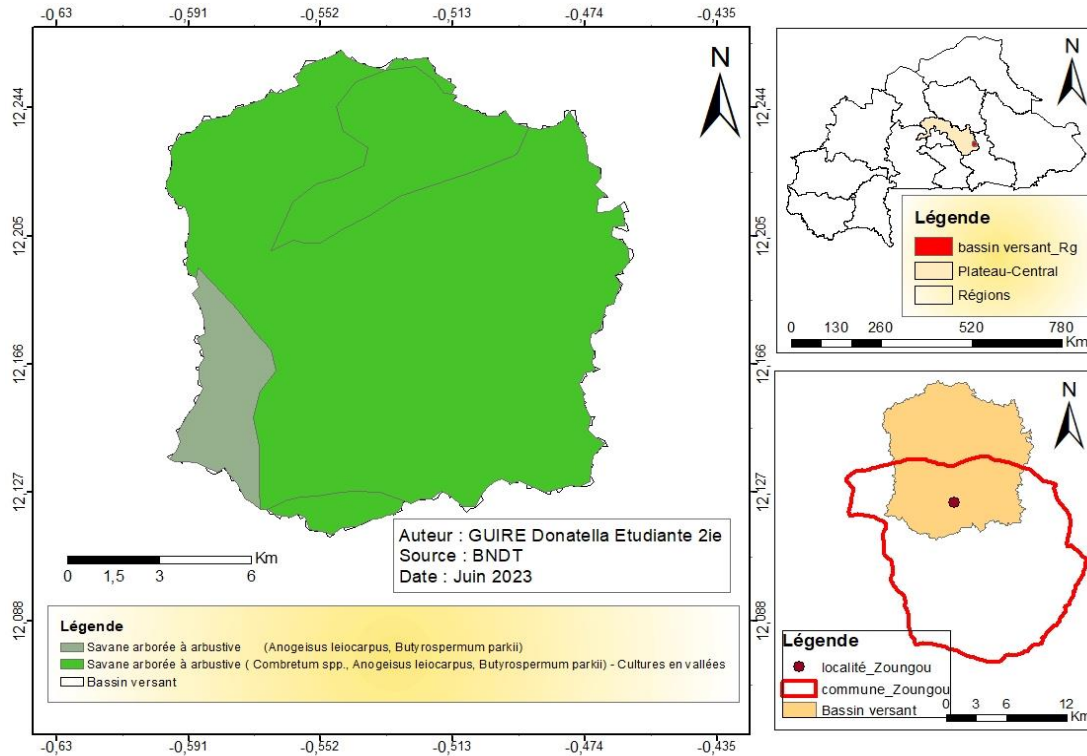


Figure 3: Carte végétative du bassin versant de Zougou

IV.2.2. Climat et hydrographie

- **Climat**

La zone du projet se situe dans le domaine climatique soudano sahélien marqué par deux saisons bien distinctes dans l'année.

Une saison sèche qui dure sept (07) mois et va de novembre à mai et une saison pluvieuse de juin à octobre. Ces durées sont variables d'une année à l'autre et on note des variations spatiales assez importantes des hauteurs d'eau enregistrées annuellement. L'essentiel des précipitations sont enregistrées dans les mois de juillet et d'août. On note cependant une grande variabilité des pluies car elles restent insuffisantes et inégalement réparties. Ceci occasionnant des poches de sécheresses et contraignant ainsi les populations à se tourner vers les cultures de contre-saisons d'où l'intérêt de la réhabilitation du barrage. Les hauteurs moyennes d'eau annuelles varient de 700 mm à 750 mm pendant la période de la saison pluvieuse de juin à septembre.

Les températures journalières les plus élevées sont situées au mois d'avril (30°C-43.6°C). En saison sèche, on note deux (02) périodes : une période sèche et froide couvrant les mois de novembre à janvier. Elle se caractérise par l'action de l'harmattan. Le mois le plus froid est celui de décembre (11.6°C-20°C). Une période sèche et chaude couvrant les mois de mars à mai pendant laquelle les plus hautes températures sont enregistrées en avril.

- Hydrographie

En terme quantitatif, le réseau hydrographique est relativement bien fourni. Mais en terme qualitatif, il est classé réseau à régime sec (temporaire) dans sa quasi-totalité, car les cours d'eau qui l'arrosent ne sont pas pérennes. Le réseau hydrographique de la zone du projet est dense. Il prend naissance dans les collines de Gonkin, Tamassogo, Tuire et Tordo puis alimente deux barrages en amont, ensuite le site du barrage de Zoungou avant de continuer sa course. La figure 4 présente l'hydrographie du bassin versant.

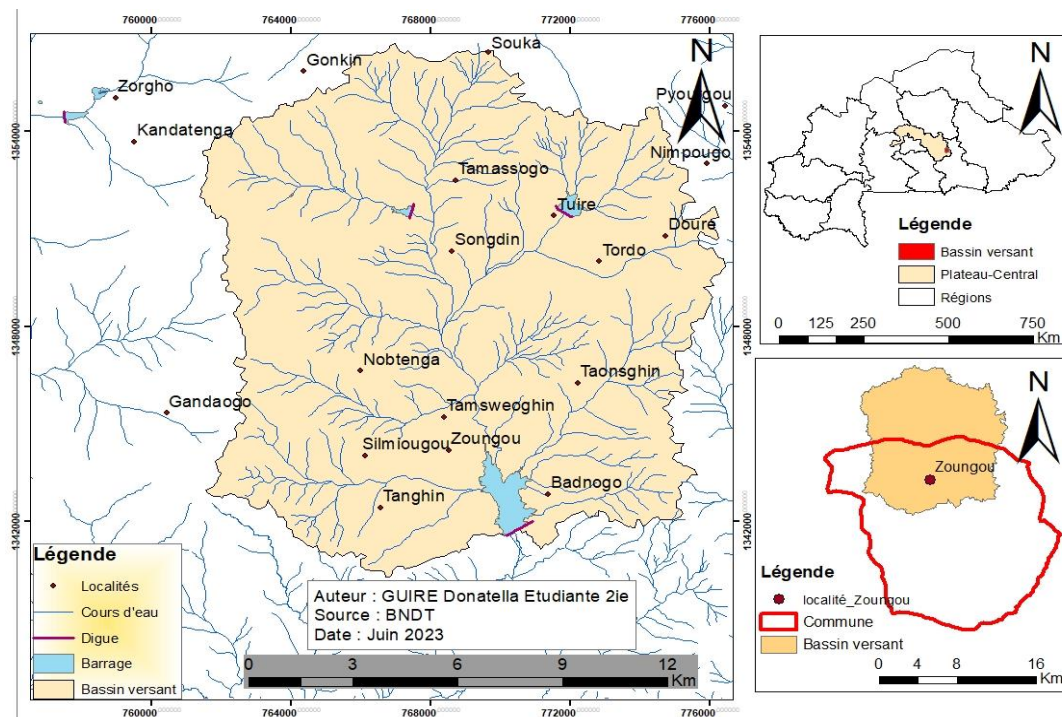


Figure 4: Carte hydrographique du bassin versant de Zoungou

V. Situation démographique et activités socio-économiques

V.1 Situation démographique

- **Les villages impactés par la zone du projet**

La zone d'intervention du projet couvre principalement la commune de Zoungou et elle peut être défini selon deux niveau :

- La zone d'influence immédiate qui concerne le village de Zoungou chef-lieu de la commune du même nom. Du fait de ce statut elle concentre le plus de population dans la commune et les structures d'administration.
- La zone d'influence directe du projet s'étend sur toute localité susceptible de ressentir les impacts directs du barrage en termes d'avantages comme d'inconvénients :

exploitation agricole, abreuvement de bétail, travail rémunérateur, ou encore les nuisances sonores, les envolés de poussières etc. Pour cela, cette zone est définie sur un rayon d'au plus 5 km autour du barrage. Ce sont les villages de Nobtenga, Silmiougou, Tanghin, Tamsweoghin et Badnogo.

- **Mouvement migratoire du village de Zoungou**

En termes de migration, on note une faible pratique du phénomène dans le village de Zoungou avec l'exploitation du barrage. On note simplement, la migration saisonnière vers les sites d'or, pour l'orpaillage, et le départ par certains jeunes vers des villes comme Ouagadougou, Pouytenga, Tenkodogo pour y pratiquer le commerce. Hors du Burkina Faso, c'est la Côte d'Ivoire qui est la terre d'accueil de la majorité des migrants de Zoungou.

Avec la rupture du barrage, certains exploitants se tournent vers d'autres localités où il y a des barrages en vue de poursuivre leurs activités. Parmi ces localités, on retient Mogtoédo, Bagré, la zone de Koubri et Ziga.

V.2 Activités socio-économiques

- **L'Agriculture**

A Zoungou, l'agriculture est la principale activité socioéconomique car elle engage la quasi-totalité de la population. La majorité des ménages affirment la pratiquée. Dans le village de Zoungou, et plus large dans la commune, on rencontre deux types d'agriculture suivant la période de l'année. L'agriculture pluviale, pratiquée pendant l'hivernage et l'agriculture de contre saison pratiquée en saison sèche.

- **L'élevage**

Après l'agriculture, l'élevage constitue l'activité la plus importante pratiquée à Zoungou. Pour les services techniques en charge de l'élevage de la zone, il n'existe pas de données à jour sur la tenure en cheptel dans la commune. Néanmoins, ils reconnaissent que les espèces les plus rencontrées sont les bovins, les ovins, les asins, les caprins et la volaille. Ce cheptel demande une quantité importante d'eau et d'aliments pour être productif.

- **La pêche**

La pêche est pratiquée dans la commune de Zoungou, même si elle n'est pas très développée. En effet, le barrage offre une opportunité aux praticiens du métier de pêche de pouvoir exercer leur activité. Il existe même une coopérative appelé « coopérative Namanegb-zanga » qui

regroupe les pêcheurs de Zoungou. Malheureusement, l'inexistence de données claires sur la filière par les différents acteurs n'a pas permis d'avoir des informations sur les rendements en termes de prise de poisson dans le barrage. Seulement, les espèces de poissons pêchées sont : la carpe, le tilapia, le silure et le capitaine.

VI. Matériel et méthodes

Nous avons adopté une approche scientifique pour répondre correctement aux exigences de conception et de dimensionnement des barrages et trouver des éléments de réponse fiables dans les conditions de référence.

VI.1 Matériels

VI.1.1 Données de l'étude

La première étape du travail a consisté à effectuer des recherches documentaires à travers la consultation de plusieurs types de documents : des rapports d'études de barrages, des documents traitants de barrage, les cours de 2iE qui aborde la conception et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, notamment les barrages, ainsi que l'écoulement à surface libre. Les données de base de cette étude proviennent des rapports fournis par le bureau d'étude :

- Données topographiques : Les études topographiques réalisées sur le site ont permis d'établir un plan de l'ensemble du site et un plan du bassin versant à l'échelle 1/2000. Ces données permettront de déterminer le volume de la retenue ainsi que la surface du plan d'eau normal et du plan d'eau aux plus hautes eaux.
- Données géotechniques : Les études géotechniques réalisées sur site ont permis de caractériser les sols (profondeur d'ancrage, cohésion, angle de frottement) pour la construction du déversoir ainsi que les matériaux des champs d'emprunt dans la zone du projet.
- Données climatiques de la station météorologique de Zorgho : Il s'agit de données sur les précipitations annuelles et les précipitations quotidiennes maximales pour la période 1955 à 2021. Elles sont utilisées pour déterminer le débit de projet et les apports liquides du projet. Pour les données d'évaporation pour Bac A (qui permettent de déduire des valeurs pour le lac), nous avons utilisé les données climatiques de la station aéroportuaire de Ouagadougou pour la période 1968 à 2021.
- Données socio-économiques : L'enquête socio-économique réalisée par le bureau d'études a permis d'identifier les zones qui bénéficieraient du projet, de dénombrer le

cheptel, d'identifier les types de cultures pratiquées et d'identifier les activités génératrices de revenus des habitants.

VI.1.2 Outils utilisés

Le matériel utilisé pour l'étude de la réhabilitation du barrage de Zoungou a été un ordinateur de bureau avec les logiciels suivants :

- **Google Earth** et **Global Mapper V.20.1** pour la délimitation du bassin versant,
- Le logiciel **Arcgis 10.4** pour l'élaboration des différentes cartes,
- Le logiciel **AutoCAD Civil 3D 2018** pour les surfaces entre courbe de niveau, et les différents dessins,
- Le logiciel **Hyfranplus** pour l'analyse fréquentielle des pluies,
- Le logiciel **CROPWAT 8.0** de la FAO pour déterminer les coefficients culturaux,
- Le logiciel **CLIMWAT 2.0** pour la détermination des données d'évapotranspiration mensuelles,
- Le logiciel **GEOSlope V12** pour vérifier la stabilité des talus de la digue,
- Le logiciel **CYPE 2014/2017** pour le dimensionnement des murs de bajoyer,
- Et enfin les outils comme **pack office 2016** pour les calculs et la rédaction du rapport.

VI.2 Méthodologie

Dans cette partie, il s'agit de présenter l'approche méthodologique adoptée pour conduire l'étude. La méthodologie a consisté à faire le diagnostic du fonctionnement des différentes parties du barrage et qui a abouti en conclusion à une reconstruction de l'ouvrage. De ce fait la méthodologie déclinée ci-dessous a été arrêtée afin de réussir l'étude.

VI.2.1 Recherche bibliographique et collecte de donnée

La recherche bibliographique a consisté à consulter les documents en lien avec les études de barrages notamment les cas de reconstruction/réhabilitation des barrages, anciens rapports d'études de barrages. Quant à la collecte des données, elle a été faite en consultant les documents disponibles au niveau de l'agence concernant les études déjà faites sur le barrage de Zoungou. Il s'agit des études de base (topographiques, géotechniques, socio-économiques) réalisés par le bureau d'études. Egalement lors de quelques sorties sur le terrain durant la période du stage d'Octobre 2022 à Février 2023, nous avons obtenus quelques données. Elle a servi à l'étude diagnostique du barrage.

VI.2.2 Diagnostic du barrage de Zoungou

Le diagnostic de l'ouvrage a consisté à faire un constat sur chaque ouvrage afin de détecter des anomalies et déterminer ses causes probables. Il s'est agi d'inspecter les ouvrages et de déceler leurs caractéristiques techniques mais également les états de dégradation, afin de proposer une solutions techniques appropriées.

VI.2.3 Etudes hydrologiques

VI.2.3.1 Caractéristiques physiques et géomorphologiques du bassin de Zoungou

Un bassin versant désigne l'ensemble de la surface topographique drainée par un cours d'eau principal et ses tributaires. Toutes ses eaux convergent vers un même point appelé exutoire qui est le point favorable pour la construction d'un ouvrage de barrage. Les outils du système d'information géographique ont permis à partir des modèles numériques de terrain SRTM et des données BNDT, de déterminer les limites du bassin versant. La détermination s'effectue en faisant des traitements avec les outils du logiciel ArcGis (comme les outils d'analyse spatial, les outils d'analyse 3D, etc). Les outils du SIG ont permis également de tracer les différentes cartes ainsi que la réalisation des calculs des paramètres morphologiques comme le périmètre et la surface. Quant à la classe du bassin versant, elle a été déterminée suivant la classification par J. RODIER (Bulletin FAO 54, 1998).

- **Périmètre (P) et surface (S) du bassin versant**

C'est à partir du logiciel Global Mapper que nous avons obtenu ces deux paramètres du bassin versant.

- **La courbe hypsométrique**

Elle fournit une vue globale sur la pente du bassin versant. C'est une représentation de la répartition de la surface du bassin versant en fonction de l'altitude. Les surfaces en fonction des tranches d'altitudes obtenues ont permis de tracer le graphe de la courbe hypsométrique sur Excel.

- **Indice de compacité ou de forme (KG) du bassin versant**

Il renseigne sur la forme du bassin versant. Il est obtenu en faisant le rapport du périmètre et de la surface. Il influence le temps de concentration, et se calcule par la formule ci-dessous :

| | | |
|------------------------------------|------|--|
| $K_G = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{S}}$ | avec | - P [km]: le périmètre du bassin versant |
| | | - S [km ²]: la surface du bassin versant |
| | | - K_G indice de compacité |
| | | - si $K_G > 1$: le bassin versant est de forme allongé |
| | | - $K_G \leq 1$: le bassin versant est de forme arrondie |

- **Rectangle équivalent** : c'est un rectangle qui aurait la même surface et le même périmètre que le bassin versant. On détermine sa longueur et sa largeur par les formules ci-dessous :

| | | |
|---|------|---|
| $Leq = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4}$ $leq = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4}$ | Avec | - P : le périmètre du bassin versant [km] |
| | | - S : la surface du bassin versant [km ²] |
| | | - Leq : la longueur du rectangle équivalent [km] |
| | | - leq : largeur du rectangle équivalent [km] |

- **Pente longitudinale**

La pente longitudinale du bassin versant a été calculée suivant la formule simplifiée de J.GRESILLON.

| | | |
|------------------------------|------|---|
| $I = \frac{0,026}{\sqrt{S}}$ | Avec | - I : la pente longitudinale du bassin versant [m/km] ; |
| | | - S: la superficie du bassin versant [km ²] |

- **Pente longitudinale du cours d'eau principal**

La pente longitudinale du cours d'eau principal a été déterminée à partir du profil en long de ce cours d'eau. Elle correspond au rapport entre la dénivelée du cours d'eau principal et sa longueur.

| | | |
|---|------|---|
| $L_{cp} = \frac{(H_{max} - H_{min})}{L_{cp}}$ | Avec | - I _{cp} : pente longitudinale du cours d'eau principal [m/km] |
| | | - H _{max} : altitude maximale le long du cours principal [m] |
| | | - H _{min} : altitude minimale le long du cours principal [m] |
| | | - L _{cp} : Longueur totale du cours d'eau principal [km] |

- **Indice global de pente**

L'indice global de pente est un paramètre géomorphologique caractérisant le relief du bassin versant. Il influe sur les débits de crues en augmentant ou en diminuant les vitesses de ruissellement suivant que la pente soit forte ou faible. Il se calcule avec la formule ci-après :

| | | |
|--|------|--|
| $I_g = \frac{(H_{5\%} - H_{95\%})}{L}$ | Avec | <ul style="list-style-type: none">- I_g : l'indice global des pentes [m/km]- $H_{5\%}$: altitude au-dessus de laquelle sont situées 5 % de la superficie du bassin-versant [m]- $H_{95\%}$: altitude au-dessus de laquelle sont situées 95 % de la superficie du bassin versant [m]- L : La longueur du rectangle équivalent [km] |
|--|------|--|

Les altitudes correspondantes à 5% ($H_{5\%}$) et 95% ($H_{95\%}$) de la surface du bassin ont été déterminées à partir de la courbe hypsométrique. Si toute fois I_g est mal présenté ($I_g < 3$) sa valeur sera calculée en prenant la largeur équivalente et le résultat obtenu ne subira pas de correction avec la pente transversale.

- **Pente transversale**

Elle est obtenue en faisant la moyenne de trois à six pentes pris différemment sur le profil en travers du bassin versant. Elle a été déterminée à l'aide du logiciel Global Mapper et des données MNT. La moyenne des différents résultats est retenue comme pente transversale (I_t) du bassin versant.

- **Indice global de pente corrigé**

La valeur moyenne (I_t) est comparée à la pente longitudinale (I_g). Lorsque la pente transversale est largement différente de la pente longitudinale, on calcule l'indice global de pente corrigé (I_{gcorr}) suivant la formule ci-après :

| | | |
|---|------|---|
| $I_{gcorr} = \frac{(n-1) \cdot I_g + I_t}{n}$ | avec | <ul style="list-style-type: none">- $n = 2$ pour $L < 5$ km,- $n = 3$ pour $5 \text{ km} < L < 25$ km,- $n = 4$ pour $25 \text{ km} < L < 50$ km- $n = 6$ pour $L > 50$ km- L [km]= longueur du rectangle équivalent |
|---|------|---|

- n : coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent
- I_g (m/km): Indice de pente globale

- I_t (m/km) :Pente transversale
- I_{gcorr} (m/km): Indice de pente corrigé

- **Densité de drainage Dd**

La densité de drainage (Dd) a été déterminée en faisant le rapport entre la longueur totale des cours d'eau et la superficie totale (S) du bassin versant.

| | | |
|--------------------------|------|--|
| $Dd = \frac{\sum Li}{S}$ | avec | <ul style="list-style-type: none">- Dd : densité de drainage [km/km²]- Li : longueur du cours d'eau élémentaire [km]- S : la surface du bassin versant [km²] |
|--------------------------|------|--|

- **Dénivelée spécifique Ds**

La dénivelée spécifique quant à elle a été déterminée par le produit de l'indice global des pentes I_g (I_g corrigé) et la racine carrée de la superficie (S) du bassin versant.

| | | |
|-----------------------|------|---|
| $Ds = I_g * \sqrt{S}$ | avec | <ul style="list-style-type: none">- S : la surface du bassin versant [km²]- Ds : dénivelé spécifique [m]- I_g : Indice global de pente corrigé [m/km] |
|-----------------------|------|---|

VI.2.3.2 Analyse fréquentielle des pluies

Nous avons utilisé les données pluviométriques recueillies à la station de Zorgho qui se trouve être la plus proche de notre site d'étude et allant sur une période de 1955 à 2021 avec les pas de temps d'une année. Elles ont été traitées par les analyses fréquentielles à l'aide du logiciel HYFRAN Plus (Hydrological Frequency Analysis), développé par l'Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE). Les résultats des ajustements réalisés sont jugés acceptables avec un intervalle de confiance (I_c) de 95%

- **Les pluies moyennes annuelles**

La méthode utilisée pour cette analyse, est l'ajustement suivant la loi normale ou la loi de GAUSS et suivant la méthode du maximum de vraisemblance.

- **Les pluies maximales journalières**

L'analyse à la loi de Gumbel dite loi des valeurs extrêmes est la méthode utilisée pour l'analyse des données des pluies maximales journalières avec la méthode du maximum de vraisemblance.

VI.2.3.3 Le débit de projet

Déterminer la crue de projet se résume à déterminer le débit de crue pour lequel on veut protéger l'ouvrage (FAO, 1998) [5]. La crue de projet adoptée est celle que l'ouvrage doit être capable d'évacuer sans dommages ; afin de se mettre dans la sécurité, le barrage de Zoungou sera dimensionné pour évacuer la crue centennale. C'est-à-dire la crue susceptible de se produire une fois tous les cents (100) ans. Le bassin versant n'ayant pas été apprécié sur son volume, deux méthodes développées pour les petits bassins versants d'Afrique de l'Ouest sont utilisées pour prédéterminer les débits et les apports des crues. Les deux méthodes utilisées sont les méthodes ORSTOM et CIEH. Les détails de calcul sont donnés à l'annexe 1.

• **Méthode ORSTOM**

Elle est appliquée sur des bassins qui ont des superficies situées entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km² relevant de la zone sahélienne et tropicale sèche (FAO, 1996).

Le débit de ruissellement décennal Q_{r10} , a été déterminé par la relation suivante :

| | |
|--|---|
| $Q_{r10} = A * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}}$ $A = 1 - \left(\frac{161 - 0,042 * P_{moy}}{1000} \right) \log S$ $K_{r10} = \frac{a}{S + b} + c$ $T_{b10} = a * S^{0,36} + b$ | <ul style="list-style-type: none"> - A : coefficient d'abattement - P₁₀ : pluie maximal journalière décennale humide (mm) - K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal - α₁₀ : coefficient de pointe de la crue décennale (2,6) - T_{b10} : temps de base en heures - S : la superficie du bassin versant (km²) - a,b,c : coefficient dépendant de la zone climatique, la taille du bassin, la perméabilité du sol et l'indice global de pente |
|--|---|

| | | |
|------------------------|------|---|
| $Q_{10} = m * Q_{r10}$ | avec | <ul style="list-style-type: none"> ✓ m : estimé 1.03 pour les petits bassins imperméables en zone tropical sèche ✓ Q_{r10} : le débit de ruissellement décennal |
|------------------------|------|---|

- **Méthode CIEH ou méthode statistique**

Elle est basée sur un schéma de régression multiple établie sur la base d'échantillon de bassin répartis dans la zone tropical sèche ou sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Elle est donnée par :

| | |
|--|--|
| $Q_{10} = \alpha * S^s * P a n^p * I g^i * K r_{10}^k * D d^d$ | <ul style="list-style-type: none"> - S [Km²] : la surface du bassin versant ; - Pan [mm] : la pluie annuelle moyenne - Ig [m/km] : l'indice global de pente corrigé ; - Kr10 [%] : le coefficient de ruissellement décennal ; - Dd [km⁻¹] : la densité de drainage - a, s, p, i, k, d sont des coefficients d'ajustement |
|--|--|

Les formules de régression linéaire ci-dessous seront utilisées, suivant le découpage selon le Burkina Faso et en fonction de la zone climatique :

Equation N°39 : Défini pour le Burkina Faso en fonction de la surface et de Kr10

Equation N°40 : Défini pour le Burkina Faso en fonction de la surface et de Ig et Kr10

Equation N°8 : Défini selon le découpage climatique en fonction de la surface et de Kr10

| Equations | Formule du débit décennal |
|---------------|---|
| Equation n°39 | $Q_{10} = 0,410 \times S^{0,425} \times Kr_{10}^{0,923}$ |
| Equation n°40 | $Q_{10} = 0,254 \times S^{0,462} \times I g^{0,101} \times Kr_{10}^{0,976}$ |
| Equation n°8 | $Q_{10} = 0,461 \times S^{0,540} \times Kr_{10}^{0,941}$ |

Le débit final est obtenu en faisant la moyenne des débits obtenus avec les deux premières équations. On laissera l'équation N°8 car on obtient une valeur élevée par rapport aux autres.

La crue décennal retenue sera celle qui de ORSTOM ou CIEH aura la plus grande valeur pour être en position de sureté du fait des changements climatiques caractérisé par des averses fortes qui génèrent des crues brusques.

- **La théorie du Gradex ou crue de projet**

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

Les deux méthodes ci-avant développées permettent de calculer les crues décennales. Cependant la crue du projet retenue pour le dimensionnement des ouvrages du barrage est centennale pour des raisons de sécurités de l'ouvrage, du coût de l'investissement et pour la protection des populations. La théorie du Gradex utilise l'information pluviométrique pour extrapoler la distribution de fréquence des débits. Selon elle, toute précipitation extrême au-delà de la décennale, engendre un surplus de débit égal au surplus de pluie par rapport à la pluie décennale. Ce supplément de débit se traduit par le coefficient multiplicateur C supérieur à 1. Il est calculé avec la formule proposée par J. GRESILLON et défini comme suit :

| | |
|--|--|
| $C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} * \frac{\left(\frac{Tb_{10}}{24}\right)^{0,12}}{Kr_{10}}$ | <ul style="list-style-type: none"> - Q10 : crue décennale ; - C : coefficient du GRADEX ; |
| $Q_{100} = C * Q_{10}$ | <ul style="list-style-type: none"> - avec - P100 : pluie centennale ; - P10 : pluie décennale ; - Kr10: coefficient de ruissellement décennal - Tb10: temps de base décennale |

- L'hydrogramme de crue

C'est une courbe de variation du débit en fonction du temps durant une crue. L'hydrogramme de la crue du projet est un hydrogramme schématique en trois tronçons linéaires construit avec les temps de base et de montée. Le premier tronçon représente la montée de la crue et dépend essentiellement de la pluie et du bassin versant. La décrue de l'hydrogramme traduit l'écoulement de l'eau accumulée dans le bassin après la cessation des précipitations. Le troisième tronçon est la partie de l'hydrogramme générée par les seuls écoulements souterrains, alors que tout écoulement de surface a déjà cessé. Le changement de pente de la décrue s'effectue à un débit Qd dit débit de discontinuité et dont la valeur est donnée par la relation suivante :

Tableau 1: Paramètres de l'hydrogramme de crue

| | |
|---|---|
| $\frac{Q_d}{Q_{max}} = \frac{2}{\alpha_{10}} * \frac{Tb_{10} - \alpha_{10} * Tm_{10}}{Tb_{10} - 2 * Tm_{10}}$ | <ul style="list-style-type: none"> - Tb10 : temps de base décennale - Tm10 : temps de montée décennale |
| $Q_{rup} = \frac{2Q_{max}}{\alpha_{10}} * \frac{Tb_{10} - (\alpha_{10} * Tm_{10})}{Tb_{10} - 2Tm_{10}}$ | <ul style="list-style-type: none"> - avec - Qd : débit de rupture de pente de la décrue - Qmax : débit de projet |

$$T_{rup} = T_{m10} + \frac{Q_{rup} - Q_{max}}{\frac{Q_{max}}{T_{m10}}} \quad - \quad \alpha_{10}: \text{coefficient de pointe crue décennale}$$

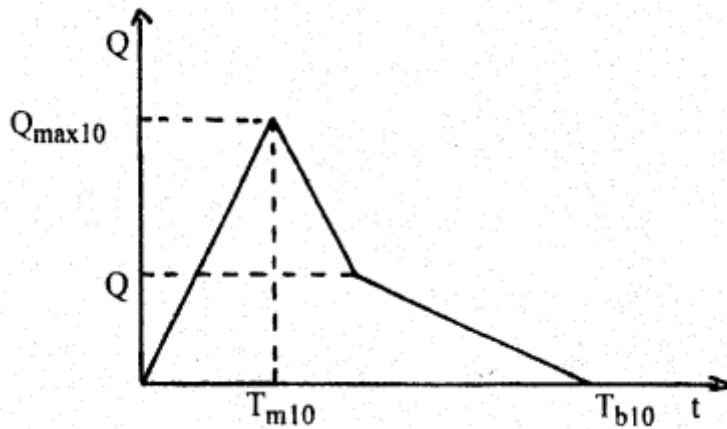


Figure 5: Représentation de l'hydrogramme de crue

- La crue de rupture

La crue de rupture d'un barrage peut être déterminée selon la CIGB par la relation suivante :

$$Q_{rup} = 2 * l * (a + 0,2)^{1,5} + 0,15 * L \quad \text{avec}$$

- l : longueur du déversoir (m)
- L : longueur de la digue sans déversoir (m)
- a : revanche total (m)
- Q_{rup} : crue de rupture (m³/s)

VI.2.3.4 Etudes des apports liquides et solides

- Apports liquides

L'apport de liquide fait référence à la quantité d'eau qui peut remplir le barrage dans un délai donné. L'estimation de ces contributions est évaluée en appliquant la méthode Rodier qui détermine le coefficient de débit. Les bassins ont été étudiés par comparaison avec les bassins typiques étudiés par Rodier (selon le type de climat, la superficie du bassin, l'altitude spécifique, la densité de drainage et les précipitations annuelles moyennes) à l'aide de la formule suivante :

$$V = K_{e,med} * S * P$$

où $K_{e,med} = \frac{L_{med}}{P}$ avec

- V : volume d'eau à l'exutoire (m³)
- K_e : coefficient d'écoulement
- S : superficie du bassin versant (km²)
- P : pluviométrie de la période considérée (mm)

- Le : lame d'eau médiane écoulée sur le bassin à lire sur les abaques de Rodier

Le bassin versant type de comparaison est celui de kamboinsé.

- Apports solides

L'eau de ruissellement sur le bassin versant entraîne tout au long de son parcours des matériaux solides qu'elle arrache. Une partie de ces matériaux se dépose au fond de la cuvette. Ces dépôts solides ont pour conséquence la diminution de la capacité de stockage du barrage. L'estimation de ces dépôts est de ce fait nécessaire et on peut l'approcher à travers plusieurs formules empiriques notamment celles de GOTTSCHALK., GRESILLON et KARAMBIRI (H. KARAMBIRI,1998).

| Auteurs | Formule |
|--|--|
| GOTTSCHALK | $D1=260*S^{-0,1}$ |
| GRESILLON | $D2=700*\left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2}$ |
| H. KARAMBIRI | $D2=137*\left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2}*S^{-0,05}*[0,25+1,13*(h+r)]$ |
| Apports solide | $V=D*S$ |
| <ul style="list-style-type: none"> - D : dégradation spécifique annuelle (m3/km²/an) - P : pluie moyenne annuelle (mm), - h : paramètre anthropique (0,5) pour un bassin versant comportant des petites villes et des villages moyens, situés à proximité de ceux-ci, - r : paramètre morphologique (0,3) pour un relief peu accidenté et accusé - S : superficie du bassin versant (km²), - V : volume annuel des apports en sédiments (m3) | |

VI.2.4 Etudes de la retenue

VI.2.4.1 Courbe hauteur-volume et hauteur-surface

Les données de la topographie nous ont permis de tracer la courbe Hauteur-Volume du barrage. La topographie de la cuvette a été étudiée avec les données fournis par le plan coté établi à l'échelle 1/2000ème. Les courbes de niveau ont été fermées en partant de la courbe de côte

269,25 à la côte de 276,50. Le levé topographique du site de la cuvette a permis de tracer les courbes hauteur volume et hauteur surface. Elles donnent les différents volumes d'eau et les surfaces pour chaque courbe de niveau de la retenue projetée.

| | | |
|--|------|---|
| $V_i = (S_{i-1} + S_i) \cdot \frac{\Delta h}{2}$ | avec | <ul style="list-style-type: none">- V_i : volume d'eau entre les courbes de niveau i-1 et i- S_{i-1} : surface du plan d'eau qui correspond à la courbe de niveau i-1- S_i : surface du plan d'eau qui correspond à la courbe de niveau i- Δh : dénivelée entre les courbes de niveau i et i-1 |
|--|------|---|

VI.2.4.2 Détermination de la côte du Plan d'Eau Normal (PEN)

La côte du Plan Normal des Eaux permet de définir la capacité de stockage de la retenue. Il a été déterminé en tenant compte des besoins en eau, des pertes aussi bien liquide que solide afin que l'exploitation de la ressource en eau soit optimisée. Les pertes liquides sont déterminées en extrapolant les données du BAC A pris en référence et en supposant une perte de 2mm par jour. En définitif le plan d'eau a été calé de manière à ce que les infrastructures situées en amont de la digue restent soumises aux mêmes dommages que la situation avant rupture de la digue.

VI.2.4.3 Détermination de la côte des Plus Hautes Eaux (PHE)

Elle peut être déterminée par le PEN augmenté de la charge au-dessus du seuil. Elle est donnée par la formule suivante :

| | | |
|-----------------|------|---|
| $PHE = PEN + h$ | avec | <p>PHE : il correspond au plan des hautes eaux (m)</p> <p>PEN : il correspond au plan d'eau normal (m)</p> <p>h : charge au-dessus du seuil (m)</p> |
|-----------------|------|---|

VI.2.4.4 Lamé d'eau déversant

La lamé d'eau déversant au-dessus de seuil sera prise conformément à la recommandation de COMPAORE (1996) qui place la plage de lamé d'eau déversant entre 0,6 et 1,5 m. Nous fixerons notre lamé d'eau à 0,8 m.

VI.2.4.5 Courbe d'exploitation de la retenue

Elle est établie à partir de la courbe hauteur volume de la retenue et elle donne un aperçu de l'évolution du volume d'eau en fonction des périodes (mois). Elle prend également en compte

les pertes (infiltration, évaporation) ainsi que les besoins en eau (domestique, pastorale et agricole) en partant de la date de retenue pleine et du début de la campagne agricole.

VI.2.4.6 Estimation des besoins en eau

L'évaluation des besoins en eau a consisté à déterminer par secteur d'activités les demandes prévisionnelles en quantité d'eau.

- **Les besoins agricoles**

L'agriculture constitue la première activité de la zone du projet. Elle est pratiquée en saison sèche et pluvieuse. Nous évaluerons les besoins en eaux en partant d'une simulation de l'utilisation de la retenue en soustrayant les besoins additionnés aux pertes du plan d'eau. On part mois par mois en commençant par la fin de la saison pluvieuse en octobre jusqu'en mars où le besoin en eau de la culture la plus défavorable se termine. La superficie retenue sera celle aménagée en aval du barrage. Cette évaluation se fera en fonction de la culture la plus contraignante pour plus de sécurité. En saison pluvieuse, on prendra donc en compte le riz et en saison sèche pour le maraîchage on prendra l'oignon. Les valeurs des paramètres qui permettent d'estimer les besoins en eau des cultures sont données par les relations suivantes :

| | | |
|------------------------------|------|---|
| $Bb = Bn/E$ | - | Bb : besoin brut ; Bn : besoin net (mm) |
| $Bn = ETM - Pe$ | - | E : efficacité du système d'irrigation |
| $ETM = Kc * ET0$ | - | ETM : évapotranspiration maximale (mm) |
| $Pe = 0,8 * P$ si $P > 20mm$ | avec | - Pe : pluie efficace (mm) |
| Si non, | | - Kc : coefficient cultural (mm) |
| $Pe = P$ | | - ET0 : évapotranspiration potentielle (mm) |
| | | - P : pluviométrie moyenne mensuelle (mm) |

- **Les besoins pastoraux**

Les besoins pastoraux ont été appréciés à partir du nombre de bétail à approvisionner et de la consommation qui a été estimée en émettant une hypothèse de 40 litres/jour/UBT pour le gros bétail et de 10 litres/jour/UBT pour le petit bétail [6]. La population d'UBT a été actualisée par une extrapolation qui a été faite avec un taux d'accroissement de 2% et 3% respectivement pour les gros et les petits bétails afin d'estimer le nombre de bétails à l'horizon du projet soit 30 ans [6]. La formule d'extrapolation est la suivante :

| | |
|---|---|
| $P_n = P_0(1 + T_x)^n$ <p align="center">avec</p> | <p>P_n : population à l'échéance du projet</p> <p>P_0 : population initiale</p> <p>T_x : taux d'accroissement</p> <p>n : nombre d'année</p> |
|---|---|

Etant donné que le barrage est à vocation agricole, les besoins des animaux transhumants n'ont pas été pris en compte ; seulement ceux qui sont en permanence dans la zone du projet.

- **Les besoins domestiques**

La consommation spécifique admise en milieu rural est de 25 l/j/habitant selon la définition de l'OMS et de l'UNICEF pour l'accès raisonnable à des sources améliorées comme la disponibilité de l'eau. Dans le but d'optimiser, les besoins en eau seront évalués à l'horizon du projet qui est de 30 ans. Ainsi, grâce aux données du RGPH 2019 [7], nous avons pu estimer la population (2052) ainsi que les besoins en eau comme suit :

| | |
|---|--|
| $P_n = P_0(1 + \tau)^n$ $C_j = C_0 \times P_n$ <p align="center">avec</p> | <p>P_n (habitants) : Population à l'horizon du projet</p> <p>P_0 (habitants) : Population année initiale (RGPH 2019)</p> <p>τ : Taux d'accroissement pris égale à 2,61% au niveau de la région pour la population</p> <p>n : Horizon du projet 30 ans</p> <p>C_j (l/j) : Besoin journalier en eau</p> <p>C_0 (l/j/habitant) : Consommation spécifique</p> |
|---|--|

- **Estimation de l'évaporation**

Des données d'évaporation d'un bac, il est faisable d'instituer une corrélation avec les données d'évaporation d'un bac en utilisant la formule de POUYAUD [8].

| | |
|--|--|
| $E_{lac} = 1.664 * E_{bac A}^{0.602}$ <p align="center">avec</p> | <p>E_{lac} : correspond à l'évaporation du plan d'eau (mm/j)</p> <p>$E_{bac A}$: correspond à l'évaporation du bac A (mm/j)</p> |
|--|--|

VI.2.5 Dimensionnement de la digue

VI.2.5.1 Détermination de la côte de la digue

La côte de la digue correspond à la côte normale de la cuvette à laquelle on ajoute la lame d'eau au-dessus du déversoir et la revanche, elle peut être calculée à partir de l'équation ci-dessous :

| | |
|-------------------------------|--|
| $H_D = H_r + h + R = PHE + R$ | <p>Hr : hauteur de la retenue (m) qui correspond au PEN</p> <p>h : lame d'eau au-dessus du seuil prise égale à 0,8 (m)</p> <p>R : revanche libre (m)</p> |
|-------------------------------|--|

VI.2.5.2 La largeur de la crête

La largeur en crête de la digue a été calculée à travers les formules de PREECE et de KNAPPEN qui sont rappelées ci-après :

| | |
|---|--|
| <p>PREECE : $lc = 1,1 * \sqrt{HD} + 1$</p> | <p>lc : largeur en crête de la digue</p> |
| <p>KNAPPEN : $lc = 1,65 * \sqrt{HD}$</p> | <p>HD : hauteur de la digue</p> |

VI.2.5.3 La largeur en base

La digue est de forme trapézoïdale alors on peut calculer la largeur en base par l'équation ci-dessous :

| | |
|--|--|
| $L_b = L_c + (m_{amont} + m_{aval}) * H_d$ | <p>Lc = correspond à la largeur en crête de la digue (m)</p> <p>m_{amont} = correspond au fruit de berge en amont</p> <p>m_{aval} = correspond au fruit de berge en aval</p> <p>H_d = correspond à la hauteur de la digue (m)</p> |
|--|--|

VI.2.5.4 Revanche libre

La revanche libre est une hauteur d'eau comprise entre le PHE et la crête du barrage. Cette hauteur permet de protéger le remblai du risque de submersion par les vagues. Les calculs

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

doivent tenir compte de la hauteur des vagues qui se forment à la surface de l'eau et de la vitesse du vent (COMPAORE, 1996). Elle est obtenue à partir de la formule de GAILLARD et de la formule simplifiée. Gaillard donne la formule ci-dessous :

| | |
|--|---|
| $R = 0,75 * (h + \frac{v^2}{2g})$ | f : fetch (km) |
| $V = 1,5 + 2 * h \text{ et } V = f(U)$ | h : hauteur des vagues (m) U= vitesse du vent en km/h |
| $h = 0,75 + 0,34 \sqrt{f} - 0,36 \times \sqrt[4]{f}$ | V : vitesse de propagation des vagues (m/s) |
| | R : revanche libre |

Dans la formule simplifiée, la constante calculée $H^2 * \sqrt{V}$ impose la revanche minimale à prendre en compte. Le tableaux 2 donne les revanches minimales en fonction de la constante selon DEGOUTTE (2002) [9].

Tableau 2: Revanche minimal en fonction de la période de retour

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

Nous ferons une moyenne des deux méthodes pour retenir la revanche.

VI.2.5.5 Pentés des talus de la digue.

La pente est déterminée en tenant compte des caractéristiques géotechniques et de la nature du matériau de construction du remblai.

Pour un barrage en terre homogène à granulométrie étendu, avec une hauteur de digue de 5 et 10 m ; la pente de 1V/2H est admise tant à l'aval qu'à l'amont. Le tableau 3 présente les pentes des talus en fonction de la hauteur du barrage

Tableau 3: Pente des talus de la digue en fonction de la hauteur du barrage

| Hauteur du barrage (m) | Type de digue | Pente des Talus | |
|------------------------|---------------------------------|-----------------|-------|
| | | Amont | Aval |
| Inférieur à 5 | Homogène | 1/2,5 | 1/2 |
| | A zones | 1/2 | 1/2 |
| Entre 5 et 10 | Homogène, granulométrie étendue | 1/2 | 1/2 |
| | Homogène à fort % d'argile | 1/2,5 | 1/2,5 |
| | A zones | 1/2 | 1/2,5 |
| Entre 10 et 20 | Homogène, granulométrie étendue | 1/2,5 | 1/2,5 |

| | | |
|----------------------------|-----|-------|
| Homogène à fort % d'argile | 1/3 | 1/2.5 |
| A zones | 1/2 | 1/3 |

- **Infiltration et hydraulique interne**

Il s'agit ici d'analyser les conditions d'étanchéité du corps de la digue, tout en sachant que les trois phénomènes suivants peuvent être causés par les infiltrations :

- La ligne de saturation
- Le débit de fuite
- Les sous pressions de l'eau dans le massif

Le débit qui s'infiltré à travers le remblai peut être approchée à travers la parabole de KOZENY :

$$y^2 - y_0^2 - 2 * xy_0 = 0$$

$$\text{Avec : } y_0 = \sqrt{h_{\text{déversoir}}^2 + d^2} - d$$

Afin de déterminer ces infiltrations nous allons également apprécier le débit de fuite noté q.

$$q = k_r * y_0$$

y_0 = Point d'intersection de l'axe des ordonnées avec la parabole de KOZENY

k_r = Perméabilité du remblai

q = Débit de fuite par mètre linéaire

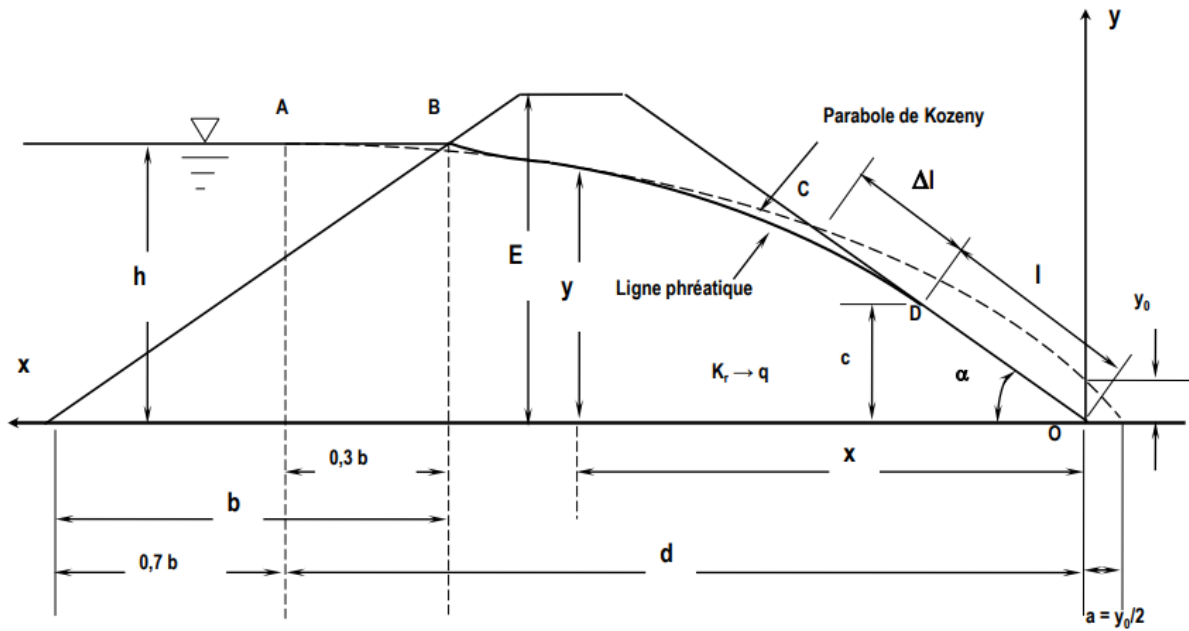


Figure 6: Illustration de la parabole de Kozeny

VI.2.5.6 Filtres et drains

Le drain est un organe à forte perméabilité destiné à assurer l'interception des eaux d'infiltration et à les évacuer hors de la digue. Le filtre horizontal qui lui est associé doit bloquer la migration potentielle des particules fines du massif à drainer vers le milieu drainant. Le drain permet d'intercepter les débits d'infiltration afin d'éviter que leur réapparition incontrôlée à l'aval ne nuise à la stabilité de digue (sous-pressions, renardage, etc.). Le dispositif de drainage a été conçu suivant les recommandations issues du guide des petits barrages [10]. Les caractéristiques des filtres sont données par :

| | |
|------------------------------------|---|
| $e = 2 \sqrt{\frac{q * l_d}{k_d}}$ | <ul style="list-style-type: none"> - e = Épaisseur du drain (m) - l_d = Longueur du drain (m) |
| $l_d = \frac{l_b}{3,5}$ | <ul style="list-style-type: none"> - l_b = Largeur en base de la digue (m) - k_d = Perméabilité du drain en m/s |

avec

- **Stabilité des talus de la digue**

La stabilité d'un barrage en terre est celle de la stabilité de son talus amont et de son talus aval sur sa fondation (Compaoré, 1996). Les méthodes de calcul de stabilité des terrains sont basées sur la constatation suivante : lorsqu'il y a glissement de terrain, il y a séparation d'une masse du sol et son glissement se fait suivant une surface de rupture. L'étude de stabilité

sera conduite par le cercle de glissement de BISHOP qui est une méthode d'analyse de la stabilité des pentes et des digues. Elle permet de calculer le cercle de glissement le plus défavorable pour un talus donné. Ce cercle est défini par la tangente à la surface du talus au point où la contrainte normale est maximale. La méthode de Bishop est une amélioration de la méthode de Fellenius, qui permet de considérer les efforts inter-tranches horizontaux uniquement. Nous avons utilisé le logiciel **Géoslope** afin de vérifier la stabilité des pentes. Nous ferons la vérification dans le cas le plus défavorable c'est-à-dire lorsque la retenue est pleine.

- **Epaisseur de la couche de protection**

Sa fonction est de mettre l'ouvrage à l'abri d'agressions extérieures notamment le battillage d'eau, les rayonnements et les chocs pouvant résulter de corps flottants, de passage d'animaux ou encore d'actes de vandalisme. Son épaisseur est calculée suivant la formule ci-après.

| | | |
|--------------------|------|---|
| $e = 1,5 * D_{50}$ | avec | e : l'épaisseur de la couche de protection D : diamètre de l'enrochement (mm) ; il est fonction de la hauteur des vagues |
|--------------------|------|---|

VI.2.6 Ouvrages annexes

VI.2.6.1 L'évacuateur de crue

- **Longueur du seuil déversant**

La longueur du seuil a été déterminée par le laminage avec l'hypothèse de l'arrivée de la crue de projet au moment où le niveau d'eau dans la retenue atteint le PEN. L'objectif de calcul est de définir deux paramètres qui sont :

- La longueur du seuil déversant,
- Le débit maximum évacué.

Par la méthode de laminage il est possible de fixer une longueur du seuil déversant, et de déterminer par itération la lame d'eau déversant. A l'inverse, la méthode EIER-CIEH (encore dite méthode du X_0) permet de déterminer la longueur du seuil par itération en se fixant la lame au-dessus du déversoir. La méthode EIER - CIEH a été utilisée car elle a été expérimentée en Afrique Sahélienne. Elle est donc adaptée à cette étude.

| | |
|---|--|
| $L1 = \frac{Qc_{max}}{m * \sqrt{2g * h^{1,5}}}$ | - Qc [m ³ /s] : débit de crue du projet ; |
|---|--|

| | |
|---|--|
| $X01 = m^2 g L_1^2 Q_{cmax} T_m^3 / S^3$ | <ul style="list-style-type: none"> - T_m [s] : temps de montée ; - h[m] : la charge sur le déversoir; - m : coefficient de débit (abaque); - g [m/s²] : l'accélération pesanteur ; - S [m²] : la surface du PEN ; - Q_e [m³/s] : le débit du laminé |
| $\text{Log}_{10}(X01)$ | |
| Lecture β_1 sur l'abaque : $Q_{e1} = \beta_1 * Q_{cmax}$ | |
| $L_2 = \frac{Q_{e1}}{m * \sqrt{2g} * h^{1.5}}$ | |
| $Xo2 = m^2 g L_2^2 Q_{cmax} T_m^3 / S^3$ | |
| $\text{Log}_{10}(X02)$ | |
| Lecture de β_2 sur l'abaque ; $Q_{e1} = \beta_2 * Q_{cmax}$ | |
| Cette itération continue jusqu'à la convergence de β | |

• **Bassin de dissipation et Chenal d'évacuation**

Le bassin de dissipation est l'ancrage de l'évacuateur de crue utilisé pour dissiper l'énergie de l'eau et ses effets érosifs. Il doit pouvoir supprimer les sauts hydrauliques en aval. La sélection du type de bassin de dissipation est basée sur la vitesse de l'eau et le nombre de Froude à l'entrée du bassin de dissipation.

Les eaux rejetées dans le bassin de dissipation passeront par le chenal d'évacuation, qui sera délimité par des diguettes de protection. Les caractéristiques du canal sont définies par la loi d'écoulement à surface libre (MAR, 2004). On utilisera alors Manning Strickler pour déterminer les différents paramètres ci-dessous :

| | |
|--|---|
| $\frac{Q_{Projet}}{K_s * \sqrt{I}} = \frac{y_n * (b + m y_n)^{\frac{5}{3}}}{(b + 2 y_n * \sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}}$ $V = \sqrt{2g \left[0.9 \left(H + h + \frac{V_0^2}{2g} \right) - Y_1 \right]}$ $Y_1 = \frac{q}{V}$ $F = \frac{V}{\sqrt{g Y_1}}$ | Q_{Projet} : débit du projet (m ³ /s) K_s : coefficient de rugosité de Manning Strickler I : pente longitudinale (m/km) y_n : tirant d'eau normal (m) b : largeur en plafond (m) V : vitesse de l'eau à l'entrée du bassin de dissipation (m/s) y_1 : tirant d'eau à l'entrée du Bassin de dissipation(m) q : débit évacué par mètre linéaire du déversoir (m ³ /s/ml) |
|--|---|

| | |
|--|---|
| | <p>g : accélération de la pesanteur (m/s^2)</p> <p>h : hauteur d'eau au-dessus du déversoir</p> <p>H : Hauteur du déversoir</p> <p>V_0 : vitesse de l'eau sur le déversoir</p> <p>y_1 : tirant d'eau à l'entrée du ressaut</p> <p>F : Nombre de Froude</p> |
|--|---|

La forme du ressaut et ses caractéristiques dépendent directement du nombre de Froude. Le principe de calcul se fait suivant la méthode ci-dessous :

- On détermine la hauteur d'eau normal dans le bassin de dissipation ainsi que la hauteur d'eau au-dessus du seuil
- Si $0,05 \leq h/H_0 \leq 0,7$ et $0,1 \leq y_n/H_0 \leq 0,8$ avec H_0 la hauteur du déversoir, alors on détermine l'enfoncement D avec l'abaque de la figure 17
- D étant déterminé on calcule $H = H_0 + D$, puis on détermine V et y_1 par itération successive
- A partir de V et y_1 , on détermine le nombre de Froude et le type de bassin correspondant, puis on calcule le tirant d'eau y_2 à la sortie du ressaut

La figure 7 illustre le principe de fonctionnement du bassin à ressaut.

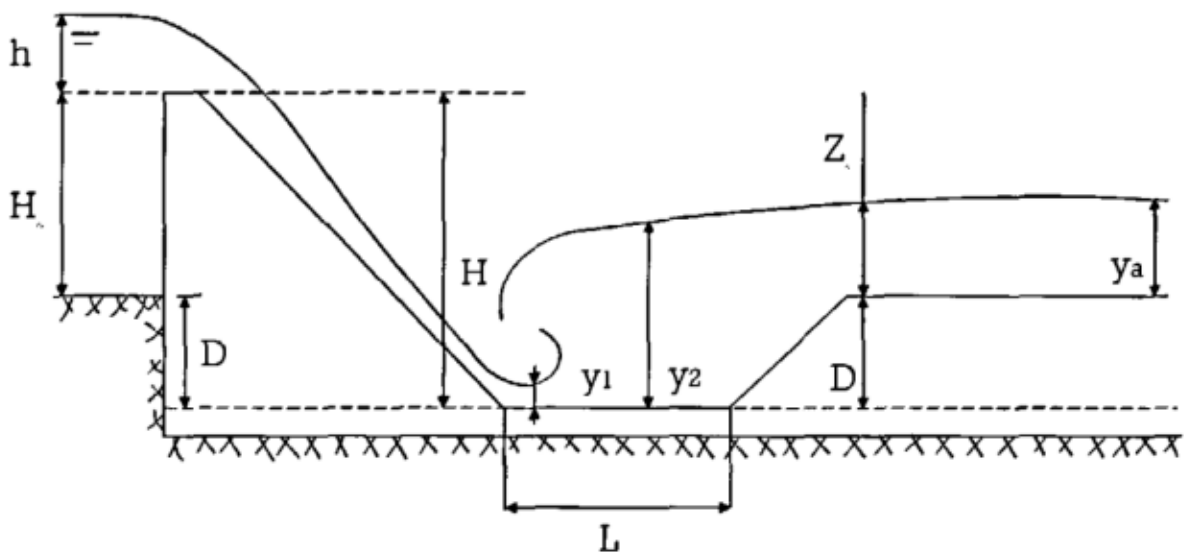


Figure 7: Principe de fonctionnement du bassin à ressaut

VI.2.6.2 Étude de Stabilité du déversoir

Afin de calculer le poids même du déversoir, nous avons scindé sa géométrie en rectangle, triangle, avec un poids volumique de béton de 24 kN/m³, et calculé les poids élémentaires par la formule $W_i = \gamma_i * S_i$.

Le barrage soumis à une hauteur d'eau déversant d'une hauteur h, nous avons une poussée hydrostatique qui représente la poussée de l'eau sur l'ouvrage à l'amont donnée par

$$P_{hydro} = \frac{1}{2} \gamma_w H_r (H_r + 2h).$$

Le diagramme des sous pressions a été calculé en tenant compte de l'effet de la parafouille soit l'étanchéité placée à l'amont de la digue pour éviter les écoulements sous la digue en prenant 2/3, soit $U_A = \gamma_w (h + \frac{2}{3} * (H - h))$.

La poussée des sédiments est donnée qui représente la poussée des matériaux (terre, sédiment) par :

$$P_{sédiment} = \frac{1}{2} \gamma_s h_s^2 \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

- **La stabilité au glissement**

La stabilité au glissement de l'ouvrage est vérifiée quand on revient à comparer la force tangentielle de glissement admissible sous le mur avec la composante tangentielle réellement appliquée. L'ouvrage ne glisse pas si :

| | |
|--|--|
| $F_G = \frac{\sum(W - u) \tan \phi}{\sum(P)} \geq 1,2$ | $\Sigma(P) = P_e + P_t$ P _e (kN/ml): poussée hydrostatique P _t (kN/ml) : poussée des terres W (kN/ml) : poids du déversoir U (kN/ml) : sous pression |
|--|--|

- **La stabilité au renversement**

L'étude de stabilité en renversement consiste à calculer les moments de forces motrices et résistantes autour du point B. Indique le rapport entre le moment de stabilisation et le moment de renversement. Cela peut être considéré comme un facteur de sécurité contre les chutes. La stabilité au renversement existe si le facteur de renversement FR > 1,5.

Le coefficient de renversement $F_R = \frac{\sum M/B(W - U)}{\sum M/B (P_e + P_t)}$

L'excentricité e du point d'application de la force résultante agissant sur la structure par rapport au centre de gravité G de la structure est de :

$$e = XG_{ouv} + \left(YG_{ouv} \times \frac{P_e + P_t}{W - U} \right) - \frac{b_2}{2}$$

- **Stabilité au poinçonnement**

Il s'agit de vérifier que la pression normale maximum σ_{max} est inférieure à la contrainte admissible du sol.

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

$$q_{adm} = 0,5 \times b_2 \times \gamma \times N_\gamma + C \times N_c + D \times \gamma \times N_q$$

Avec les paramètres définis comme suit :

q_{adm} (KN/m²) : contrainte admissible du sol

σ_{max} (KN/m²) : contrainte maximale soumise au sol

b_2 (m) : largeur en base du déversoir

γ (KN/m³) : poids volumique du sol sous la fondation

C (KN/m²) : Cohésion du sol sous la fondation

D (m) : Profondeur d'ancrage du déversoir dans la fondation

N_γ , N_c et N_q sont des facteurs de capacité portante et dépendent de l'angle de frottement interne φ du sol

- **Stabilité à la non fissuration**

Elle est régie par le respect de la règle du tiers central.

| | |
|--|---|
| $-\frac{b}{6} \leq e \leq \frac{b}{6}$ | <p>e : excentricité (distance horizontale entre la résultante des forces et le centre de gravité de la base du déversoir) ; b : base du déversoir.</p> |
|--|---|

- **Stabilité à la non rupture**

L'état non fissuré du déversoir dépend des valeurs des contraintes minimales et maximales. La contrainte minimale doit être positive, tandis que la contrainte maximale doit être inférieure à la contrainte ultime du béton.

$$\sigma_{max} = \left(\frac{W - U}{b_2} \right) \times \left[1 + \frac{6e}{b_2} \right]$$

$$\sigma_{lim, \text{béton}} = 0,3 \times f_{c28} * 1000$$

VI.2.6.3 Murs bajoyers

Pour éviter des affouillements au niveau de la jonction de la digue en terre et du déversoir, des murs bajoyers sont indispensables. Nous avons dimensionné les murs bajoyers à l'aide du logiciel CYPE 2017. Par la suite nous avons vérifié leur stabilité sur Excel.

VI.2.6.4 Ouvrage de prise et de vidange

Un ouvrage de prise destiné à l'utilisation de la retenue est indispensable pour assurer l'irrigation complémentaire ou de contre saison du périmètre aménageable et l'élevage. Nous avons opté de garder l'ouvrage de prise. Nous aurons donc les mêmes dimensions et caractéristiques. A côté de cette prise, nous envisageons l'implantation d'un ouvrage de vidange qui aura les mêmes caractéristiques que l'ouvrage de prise, il va permettre la vidange partielle ou complète du barrage en cas de danger ou de nécessité.

VI.2.6.5 Décret et méthode de réalisation de la notice d'impact environnementale et sociale

Selon le sens du contenu du décret N° 2015 1187 / PRESTRANS / PM / MERH / MATD / MME / MS / MARHASA / MRA / MICA / MHU / MIDT / MCT qui porte sur les conditions et les procédures de réalisation et de validation à propos des évaluations environnementales stratégiques, des études et notices d'impact environnemental et social [11], les projets nécessitant une Notification d'Impacts Environnementaux et Sociaux (NIES) sont classés en catégorie B. Un projet est classé dans la catégorie B si ses impacts environnementaux négatifs probables sont très localisés et si des mesures d'atténuation peuvent être facilement conçues. En cas de notification, aucune enquête publique ne sera organisée. La mise en œuvre de ce projet aura sans aucun doute des impacts à la fois néfastes et positifs sur le milieu récepteur. Nous avons donc identifié l'impact des activités du projet sur l'environnement et élaboré des mesures de compensation. Le projet de réhabilitation du barrage de Zoungou est donc classé en catégorie B. Nous évaluerons ensuite les coûts de mise en œuvre des mesures de compensation, d'atténuation et de compensation pour les personnes affectées par le projet.

VI.2.6.6 Etude financière

L'évaluation du coût du projet a été faite conformément aux orientations de la mercuriale des prix du secteur des bâtiments et travaux publics du Burkina. A la suite de la conception du barrage, le coût de la réalisation de l'ouvrage a été estimé en procédant par l'avant métré de chaque ouvrage à l'aide du mercuriale BTP 2022 correspondant à Ouagadougou et couvrant les régions du Plateau Central, du Centre et du Centre Nord . Il est important de souligner qu'à chaque fois l'option la plus avantageuse économiquement a été considérée.

VII. Résultats et discussions

VII.1 Etude diagnostic

Les visites de terrain permettent d'observer le fonctionnement des ouvrages de barrage et les dégâts qu'ils subissent lors de leur exploitation. Les principales détériorations constatées sont les suivantes.

VII.1.1 Digue

La digue est une digue homogène en matériaux argilo-sablonneux avec une hauteur de 6,5 m, une longueur de 992,5. Outre cela les dégradations suivantes ont été observées :

- Un film présentant l'apparition de fuites et la naissance de départ de renardage au travers de la digue ;
- Des ruptures de la digue en rive gauche à deux endroits au niveau du lit et à côté du déversoir, avec développement de trous profonds et des érosions dans la zone de rupture ;
- La désorganisation du perré sec à certains endroits sur les talus ;
- La présence d'arbuste et herbes sur les talus et la crête.



Image 1: Développement de termitières sur la digue



Image 2: Vue d'ensemble des deux brèches de la digue et de l'érosion aval

VII.1.2 Déversoir

Situé en rive droite, le déversoir est semi-latéral. C'est un déversoir poids en béton cyclopéen avec un revêtement qui est devenu vétuste présentant des dégradations ; à la suite du déversoir il y a un bassin de dissipation de type USBR II, un chenal de restitution bordé de diguettes de

protection sur chacune des rives au début du bassin et par des cavaliers le long du lit mineur protégeant les périmètres irrigués. Les dégradations suivantes ont été observées :

- Des dégradations épidermiques sur le revêtement du parement aval du déversoir ;
- Des fissures en certains endroits du déversoir avec des traces de suintement d'eau confirmant des fuites observées pendant la retenue pleine ;
- La Détérioration des blocs de chutes et de chicanes du bassin de dissipation.



Image 3: Affaissement du perré maçonné sur le déversoir



Image 4: Fissures sur le déversoir et fuites d'eau

VII.1.3 Bassin de dissipation

Le bassin de dissipation est en béton ordinaire sur une longueur de 4,30m. Il s'agit d'une dalle avec seuil terminal et protection aval en enrochement. Il comporte des blocs de chute et chicanes. Lors de notre visite sur le terrain nous avons constaté à ce niveau la détérioration des blocs de chutes et de chicanes du bassin de dissipation, les blocs de chutes très espacés, la dégradation du seuil terminal, la désorganisation des enrochements aval.



Image 5: Détérioration des blocs de chute et blocs chicanes

VII.1.4 Ouvrage de prise

L'ouvrage de prise est placé en rive gauche avec un bac amont de 180cm de longueur et 180 cm de largeur. Il est également constitué d'une conduite en fonte DN 500 de 28m. Au-delà des caractéristiques géométriques ci-dessus, les dégradations suivantes ont été observées :

- Absence de grille de protection du bac
- Absence de crépine d'entrée de la conduite
- Fissuration longitudinale des parois du bac
- Fond du bac bouché en partie par de la terre et des moellons
- Absence de grille protecteur sur le bassin de répartition



Image 6: Absence de grille amont et conduite partiellement bouché



Image 7: Bac aval comblé de cailloux

VII.1.5 Diguette de protection et Chenal

Le chenal est non aménagé. Les diguettes de protections sont en terre compactées. Elles permettent de canaliser les eaux de déversement de l'évacuateur de crue. Une partie de la diguette en rive droite est complètement emportée par les eaux de crue après la rupture, et également le développement d'une ravine dans le chenal dans la zone de rupture.

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso



Image 8: Diguettes emportées par les eaux de crue



Image 9: Développement de ravine dans le chenal

VII.1.6 La Piste aval

La piste permet de lier les deux rives. Elle est en terre et comporte un ouvrage de franchissement du chenal. Il s'agit d'un dalot submersible réalisé en travers le chenal. La partie en rive gauche de la piste est complètement rasée jusqu'au dalot submersible, on note aussi le développement de ravine dans la zone de rupture en rive gauche.



Image 10: Dégradation de la piste jusqu'au dalot submersible



Image 11: La partie de la piste en rive gauche complètement rasée

VII.1.7 La cuvette

La cuvette est relativement plate. Il est actuellement occupé par les champs.

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso



Image 12: Développement de champs dans la cuvette



Image 13: Présence de concession dans la cuvette

VII.1.8 Les causes probables des dégradations observées

Au terme des observations visuelles et des études complémentaires, on retient que les principales raisons ayant causé la rupture du barrage de Zoungou sont :

- L'absence de tranchée d'ancrage
- L'absence de filtre

| Ouvrages | Anomalies relevées | Causes Probables |
|----------|---|--|
| Digue | Désorganisation du perré sec à certains endroits sur les talus | Les anomalies relevées sont liées à des insuffisances dans la mise en œuvre et au manque d'entretien |
| | Présence d'arbuste et herbes sur les talus et la crête ; Développement de termitières sur la crête | Les anomalies relevées sont liées à des insuffisances ou manque d'entretien |

| Ouvrages | Anomalies relevées | Causes Probables |
|------------------------------------|---|--|
| Déversoir et bassin de dissipation | Déversoir présentant un revêtement avec des dégradations épidermiques | Les anomalies relevées sont liés à des insuffisances dans la mise en œuvre et au manque d'entretien |
| | Fissures en certains endroits du déversoir et Fuite au travers du béton | La fuite au travers du béton est justifiée par la mauvaise mise en œuvre du béton cyclopéen aux endroits affectés au moment de l'exécution ; |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| | | Et les fissures peuvent résulter des dilatations |
| | Affaissement du perré maçonné amont à côté du déversoir | Les anomalies relevées sont liées à des insuffisances dans la mise en œuvre et au manque d'entretien |
| | Détérioration des blocs de chute et de chicane du bassin de dissipation | |
| | Blocs de chute très espacé | |
| | Dégradation du seuil terminal | |
| | Désorganisation des enrochements aval | |
| Chenal et diguette de protection | Une partie de la diguette en rive droite est complètement emportée par les eaux de crue après la rupture | Les dommages et les dégradations observés ici sont liés au passage de la crue au travers de la zone de rupture de la digue |
| | Développement d'une ravine dans le chenal dans la zone de rupture | |

| Ouvrages | Anomalies relevées | Causes Probables |
|------------------|--|---|
| Ouvrage de prise | Bac amont partiellement bouché | Manque d'entretien |
| | Absence d'une grille à l'amont et de crépine d'admission | Insuffisance dans la mise en œuvre |
| Piste aval | La partie de la piste en rive gauche est complètement rasée jusqu'au dalot submersible | Les dommages et les dégradations observés ici sont liés à la crue ayant rompue la digue |
| | Développement de ravine dans la zone de rupture en rive gauche ; | |
| Cuvette | Présence de champs | L'ensablement et l'exploitation agricole sont à lier à l'occupation anarchiques des abords et de la cuvette du barrage ; et les apports solides vu l'âge du barrage |
| | Cuvette ensablée | |
| | Occupation des berges de la cuvette par des concessions nouvelles | Méconnaissance du respect des limites de la bande de servitude |

VII.2 Proposition de réhabilitation

VII.2.1 Réhabilitation de la digue

La digue du barrage sera reconstruite en amont de l'ancienne sur un nouvel axe décalé en amont de 20 m par rapport à l'axe de l'ancienne digue. Elle est redimensionnée avec un changement par rapport aux côtes de crête, de pente des talus et de largeur en crête. Cependant il n'est pas prévu un prolongement de la digue. La digue sera homogène en terre muni d'une tranchée d'ancrage et un filtre horizontal de pied. Il est également prévu la mise en place d'un géotextile de bonne résistance mécanique sur talus amont et ancré en pied de digue de 2m pour éviter les formations de trous dans la digue par les animaux aquatiques.



Image 13: Apparition de trous sous la digue

VII.2.2 Réhabilitation de l'évacuateur de crue

Compte tenu de la forte dégradation du seuil actuel, nous proposons la construction d'un nouveau seuil au droit de l'ancien seuil et dans l'axe du nouveau remblai. Le déversoir sera un déversoir gravitaire semi-latéral en béton qui dirigera les eaux de crue vers le lit de la rivière en convertissant le régime de débit de crue en régime de débit de rivière. De cette manière, nous pouvons atténuer l'érosion régressive actuelle. Le déversoir sera constitué de seuils de poids, de bassins de dissipation et de canaux d'évacuation. La restauration augmentera légèrement la hauteur du réservoir de 10 centimètres afin de ne pas perturber les aménagements et concessions existants en amont du projet, et prendra en compte la nouvelle côte du PEN lors de la détermination des dimensions.

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

VII.2.3 Réhabilitation de l'ouvrage de prise

Il sera associé à l'ouvrage de prise existant qui sera au préalable nettoyé et réhabilité avec des grilles de protection en amont et en aval, un ouvrage de vidange dont les deux permettront la vidange du barrage en quelques jours voire maximum un mois. Ainsi il sera effectué le prolongement de la conduite de la prise actuelle à la nouvelle digue.

VII.3 Synthèse des études hydrologiques

VII.3.1. Analyse fréquentielle des pluies

Les valeurs caractéristiques des séries de données sur les précipitations annuelles et les précipitations quotidiennes maximales annuelles sont présentées dans le tableau 4 et 5.

Tableau 4: Valeurs caractéristiques de l'ajustement des données de pluies journalières maximales

| Ajustement par la loi Normale | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|---------------|------------------------------|------------|-------------------------------|--------|
| | Période de retour (T) | Fréquence (q) | Pluie annuelle (10ièm de mm) | Ecart type | Intervalle de confiance (95%) | |
| Décennal humide | 10.0 | 0.9000 | 9591.9 | 24.51 | 911.15 | 1007.2 |
| Quinquennal humide | 5.0 | 0.8000 | 8944.7 | 21.09 | 853.11 | 935.83 |
| Pluie annuelle moyenne | 2.0 | 0.5000 | 7707.7 | 18.09 | 735.30 | 806.24 |
| Quinquennal sèche | 5.0 | 0.2000 | 6470.7 | 21.09 | 605.71 | 688.43 |
| Décennal sèche | 10 | 0.1000 | 5823.5 | 24.50 | 534.31 | 630.39 |

Tableau 5: Valeurs caractéristiques de l'ajustement des données de pluies maximales annuelles

| Ajustement par la loi de Gumbel | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|---------------|------------------------------|------------|-------------------------------|--------|
| | Période de retour (T) | Fréquence (q) | Pluie annuelle (10ièm de mm) | Ecart type | Intervalle de confiance (95%) | |
| Décennal humide | 10.0 | 0.9000 | 959.9 | 5.02 | 86.15 | 105.84 |
| Quinquennal humide | 5.0 | 0.8000 | 828.2 | 3.90 | 75.17 | 90.48 |
| Pluie annuelle moyenne | 2.0 | 0.5000 | 629.3 | 2.53 | 57.97 | 67.90 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | | | | |
|-------------------|------|--------|-------|------|-------|-------|
| Quinquennal sèche | 5.0 | 0.2000 | 481.5 | 2.16 | 43.91 | 52.39 |
| Décennal sèche | 10.0 | 0.1000 | 418.7 | 2.27 | 37.40 | 46.33 |

VII.3.2. Caractéristiques géomorphologiques et physiques du bassin versant du barrage de Zoungou

Les limites du bassin versant du barrage de Zoungou sont illustrées à la figure 7. La superficie du bassin est d'environ 180 km² et elle a une forme allongée ($IG > 1$). En outre son relief est assez bas ($DS < 50$ m).

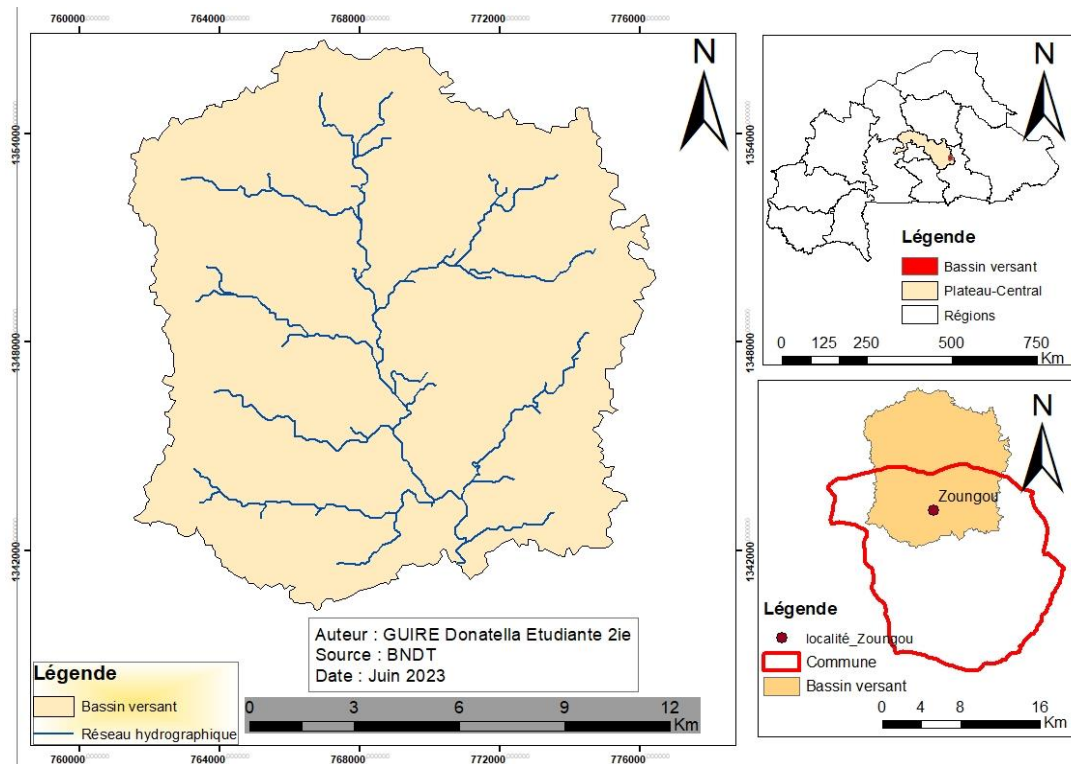


Figure 8: Carte de localisation du bassin versant du barrage de Zoungou

La zone du bassin versant du barrage de Zoungou est relativement imperméable car elle est située dans une zone de sol moyennement perméable (gravier, matériau argileux et sol sur croûte ferreuse). Le bassin conserve donc un indice de perméabilité de RI. Les réseaux hydrologiques ont des caractéristiques radiales. Le tracé d'une courbe hypsométrique permet de déterminer des valeurs de hauteur à 5% et 95% de la surface. Il est présenté à la figure 8.

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

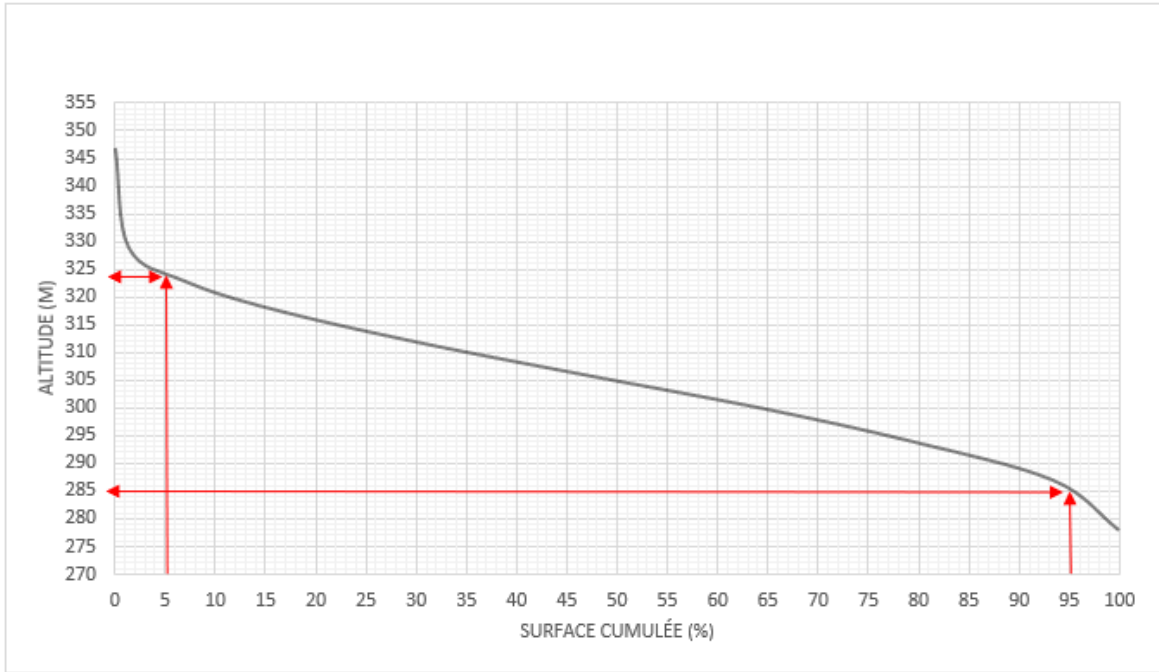


Figure 9: Courbe hypsométrique du barrage de Zoungou

Les caractéristiques géomorphologiques et physiques du bassin versant ont été résumées dans le tableau 6 :

Tableau 6: Valeurs des caractéristiques physiques et géomorphologiques du bassin versant de Zoungou

| Paramètre | Symboles | Valeurs | Unités |
|-----------------------------------|---|---------|-----------------|
| Périmètre | P | 76 | km |
| Surface | S | 180 | Km ² |
| Pente transversale | It | 3,35 | m/km |
| Indice de compacité de Gravelius | Ic ou KG | 1,59 | |
| Forme du bassin versant | KG = 1,77 > 1 alors le bassin versant est de forme allongée | | |
| Longueur du cours d'eau principal | Lprinc | 16,2 | Km |
| Longueur du rectangle équivalent | Leq | 32,13 | km |
| Largeur du rectangle équivalent | leq | 5,60 | km |
| Longueur du thalweg | Ltg | 16,20 | km |
| Altitude maximale | Zmax | 347 | m |
| Altitude minimale | Zmin | 278 | m |
| Altitude à 5% de surface | Z (5%) | 324 | m |
| Altitude à 95% de surface | Z (95%) | 285 | m |
| Altitude moyenne | Z moy | 312,5 | m |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | |
|---------------------------------|-----------|----------------------------------|--------------------|
| Altitude médiane | Z méd | 304 | m |
| Pente moyenne du BV | Imoy | 5,14 | m/km |
| Pente longitudinale | I | 1,94 | m/km |
| Indice global de pente | Ig | 1,21 | m/km |
| Indice global de pente corrigé | Ig corr | 1,75 | m/km |
| Indice global de pente retenu | Ig ret | 1,75 | m/km |
| Dénivelé spécifique | Ds | 23,45 | m |
| Type de relief | | Relief faible | |
| Longueur totale des cours d'eau | $\sum Lc$ | 94,74 | km |
| Densité de drainage | Dd | 0,53 | km/km ² |
| Classe du bassin | R3 | pentes modérées entre 0,5% et 1% | |
| Infiltrabilité | I | RI (P3) | |
| Type de réseau hydrographique | Radial | | |

VII.3.3. Prédétermination des crues

VII.3.3.1 Crue décennale

L'utilisation des deux méthodes de calcul du débit maximal nous a permis d'avoir respectivement les valeurs pour la méthode de l'ORSTOM et du CIEH. Comme l'ouvrage à mettre en place est un ouvrage de sécurité, nous allons retenir la valeur fournie par la méthode CIEH pour avoir de la sécurité. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7: Valeurs obtenus pour la crue décennale

| Paramètres | Désignation | Valeurs |
|--|-------------|---------|
| Coefficient d'abattement de Vuillaume | A | 0,71 |
| Pluie journalière décennale (mm) | P10 | 96 |
| Coefficient de ruissellement décennale (%) | Kr 10 | 16,1 |
| Coefficient de pointe de la crue décennale | α | 2,6 |
| Superficie du bassin (km ²) | S | 180 |
| Temps de base de la crue décennale (mn) | Tb 10 | 3428,15 |
| Hauteur moyenne de précipitation annuelle (mm) | Pan | 770,8 |
| Coefficient de majoration | m | 1,03 |
| Hauteur moyenne de précipitation annuelle (mm) | Pan | 770,8 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------|
| Indice global de pente retenu (m/km) | Ig | 1,75 |
| Q10 ORSTOM | (m ³ /s) | 25,71 |
| Q10 CIEH ret | (m ³ /s) | 46,51 |

VII.3.3.2 Crue de projet

Nous utiliserons la courbe hauteur-volume pour estimer le volume du barrage. La détermination du paramètre H nous donne une période de retour de 100 ans. De plus, en termes d'échelle, le barrage de Zoungou appartient à la catégorie des petits barrages selon la classification de la Commission Nationale des Barrages du Burkina Faso (CNBB), nous considérons donc la crue centennale comme une crue de projet. Le tableau 8 répertorie les crues de conception à prendre en compte.

Tableau 8: Valeurs obtenus pour la crue de projet

| Désignation | Symboles | Valeurs | Unités |
|--|-----------------|----------------|-------------------|
| Crue décennale du projet | Q_{10} | 46,51 | m ³ /s |
| Pluie maximale journalière centennale humide | P_{100} | 137,24 | mm |
| Coefficient de GRADEX | C | 3,96 | - |
| Crue centennale | Q_{100} | 184,21 | m ³ /s |
| Crue retenue pour le projet | Q_{max} | 184,21 | m ³ /s |
| Crue de rupture | Q_{rupt} | 566,61 | m ³ /s |

VII.3.3.3. Hydrogramme de crue

La crue de projet correspond au débit maximum soit 184,21 m³/s et le flux discontinu est estimé à 56,68 m³/s au temps $t = 2 \times Tm$.

La figure 9 montre l'hydrogramme de la crue du projet.

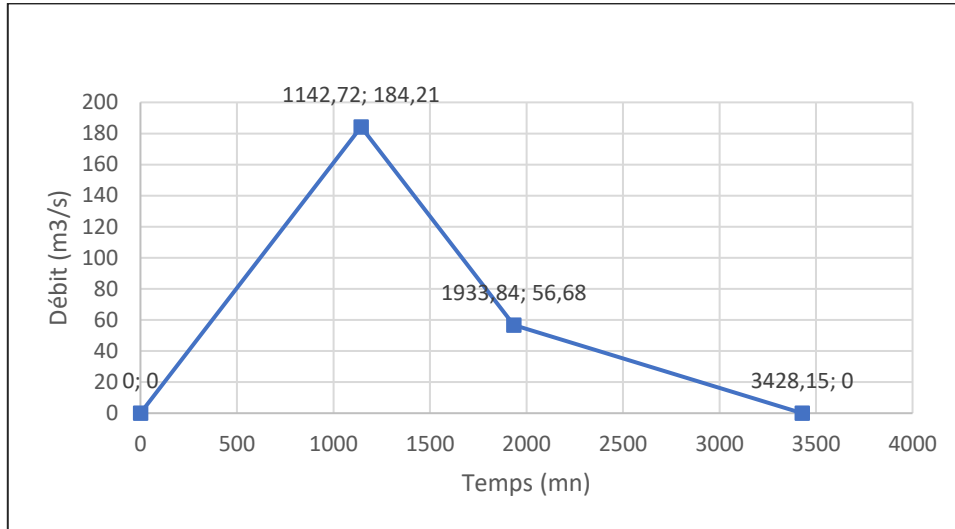


Figure 10: Hydrogramme de crue

VII.3.3.4. Apports liquides

En tenant compte de la superficie du bassin versant, la méthode Rodier est la plus adéquate pour évaluer les apports de liquides.

Le bassin étudié peut être de type Ouagadougou I avec $S = 294 \text{ km}^2$.

$Dd = 0,56 \text{ km/km}^2$; $Pmed = 850 \text{ mm}$, $kmed = 4,7 \%$.

Si $Pmoy = 805 \text{ mm}$, alors $Pmed = Pmoy$ car nous sommes dans une région tropicale sèche.

Par interpolation des courbes de la figure 51 de la FAO.

Sur la base de l'évaluation des apports liquides et de la localisation de la côte du PEN à une altitude de 274,2 m, le réservoir du barrage est rempli d'une capacité de 4 800 000 m³ au cours d'une année normale.

Le tableau 9 montre l'apport hydrique en fonction de la période de retour.

Tableau 9: Apports liquides en fonction des périodes de retour avec le bassin type de Ouagadougou I

| Bassin type de Ouagadougou I, S compris entre 100 et 1000, bassin sur granito-gneiss | | | | | | | |
|---|--------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|---------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Fréquence de dépassement | Période de retour | Lmed lu bassin type (mm) | Pluies (mm) | Ke calculé | Ke (%) | Surface (km²) | Apports (m³) |
| 0,5 | Médiane | 42 | 771 | 0,05 | 5,44 | 180 | 7 560 000 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | | | | | |
|-----|-------------------|----|--------|------|------|--|-----------|
| 0,8 | Quinquennal sèche | 20 | 647,07 | 0,03 | 3,09 | | 3 600 000 |
| 0,9 | Décennal sèche | 14 | 582,35 | 0,02 | 2,40 | | 2 520 000 |

VII.3.4. Etude de la retenue

VII.3.4.1. Courbe de Hauteur-Volume et Hauteur-Surface

En étudiant la topographie du bassin, nous avons pu déterminer le volume et la superficie des plans d'eau en fonction de la hauteur. Les figures 10 et 11 ci-dessous représentent respectivement les courbes hauteur-volume et hauteur-surface, avec une côte PEN de 274,2 m, une capacité de barrage de 4,8 milliards de m³ et une superficie de 285 hectares.

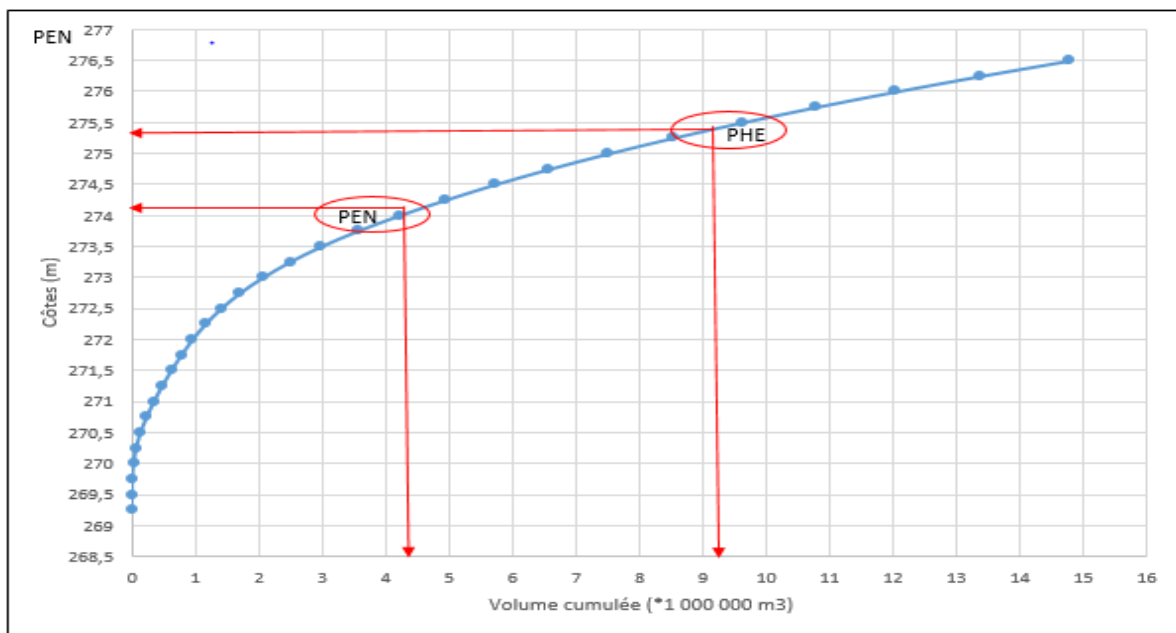


Figure 11: Courbe hauteur volume du barrage de Zoungou

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

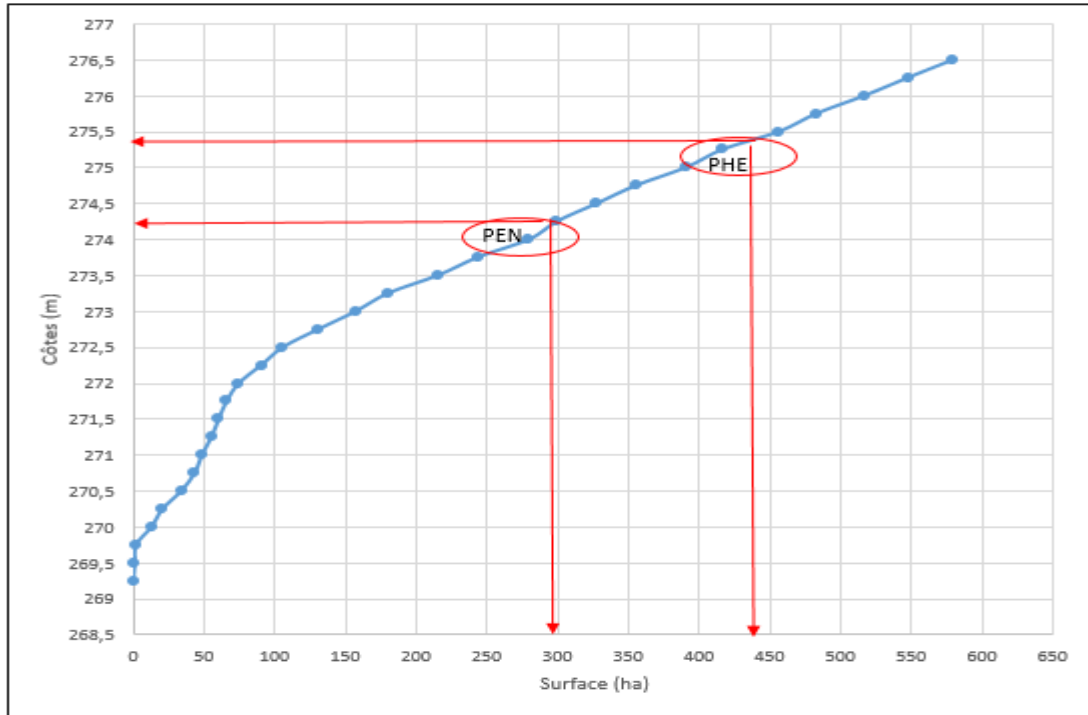


Figure 12: Courbe hauteur surface du barrage de Zoungou

VII.3.4.2. Estimation des apports solides du barrage Zoungou

Annuellement le volume d'ensablement de la retenue de Zoungou est évalué à 25 068.19 m³. Ainsi, le volume mort à l'horizon du projet (2052) est estimé à 752 045.66 m³ correspondant à une côte de 271.2 m sur la courbe de Hauteur-Volume.

VII.3.4.3. Estimation des pertes d'eau

La réduction du plan d'eau par infiltration et par évaporation avec l'hypothèse d'une évaporation de 2 mm/ jour, sont résumées dans le tableau 10 :

Tableau 10: Valeurs des pertes par Infiltration et évaporation

| Estimation des pertes par infiltration et évaporation | | | | | | |
|--|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|--|
| Mois | Nbre jrs | Ev bac (mm) | Ev lac (mm) | Infiltration (mm) | Total perte(mm) | |
| Janvier | 31 | 256,12 | 183,91 | 62 | 502,03 | |
| Février | 28 | 274,58 | 184,16 | 56 | 514,74 | |
| Mars | 31 | 335,47 | 216,35 | 62 | 613,82 | |
| Avril | 30 | 319,14 | 207,23 | 60 | 586,37 | |
| Mai | 31 | 311,01 | 206,71 | 62 | 579,72 | |
| Juin | 30 | 248,13 | 178,09 | 60 | 486,23 | |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | | | |
|-----------|----|--------|--------|----|--------|
| Juillet | 31 | 202,25 | 159,54 | 62 | 423,78 |
| Août | 31 | 164,24 | 140,75 | 62 | 366,99 |
| Septembre | 30 | 167,50 | 140,57 | 60 | 368,07 |
| Octobre | 31 | 212,70 | 164,45 | 62 | 439,15 |
| Novembre | 30 | 230,65 | 170,43 | 60 | 461,09 |
| Décembre | 31 | 240,82 | 177,21 | 62 | 480,03 |

VII.3.4.4 Estimation des besoins en eau

- **Besoins en eau humains et du cheptel**

Le taux de croissance démographique régionale est de 2,61% [12], nous avons estimé la population des villages bénéficiaires sur la durée du projet de 30 ans. La demande humaine annuelle est estimée à 199 011 mètres cubes.

Le nombre de têtes de bétail a été estimé sur la période de 30 ans du projet en utilisant des taux de croissance du cheptel de 2% pour le gros bétail et de 3% pour le petit bétail. Les besoins annuels en eau du bétail sont de 65 554 mètres cubes. Les résultats sont consignés dans le tableau 11.

Tableau 11: Résultats de l'estimation des besoins en eau

| Mois | Nombre de jours | Consommation humaine (m3) | Consommation du cheptel (m3) |
|------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Janvier | 31 | 16 930,44 | 5 567,61 |
| Février | 28 | 15 292,01 | 5 028,81 |
| Mars | 31 | 16 930,44 | 5 567,61 |
| Avril | 30 | 16 384,30 | 5 388,01 |
| Mai | 31 | 16 930,44 | 5 567,61 |
| Juin | 30 | 16 384,30 | 5 388,01 |
| Juillet | 31 | 16 930,44 | 5 567,61 |
| Août | 31 | 16 930,44 | 5 567,61 |
| Septembre | 30 | 16 384,30 | 5 388,01 |
| Octobre | 31 | 16 930,44 | 5 567,61 |
| Novembre | 30 | 16 384,30 | 5 388,01 |
| Décembre | 31 | 16 930,44 | 5 567,61 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | |
|---------------------|-----|-------------------|---------------|
| Total annuel | 365 | 199 342,00 | 65 554 |
|---------------------|-----|-------------------|---------------|

VII.3.4.5. Besoins pour l'irrigation

L'oignon et le riz ont des besoins en eau qui sont résumés sur le tableau 12. Ces besoins en eau sont fonction du mois pour un hectare de culture.

Tableau 12: Besoins en eau pour l'irrigation

| Mois | Besoin Riz (m3/ha) | Besoin maraîchage (oignon en m3/ha) |
|------------------|---------------------------|--|
| Janvier | 0 | 2 504,18 |
| Février | 0 | 2 330,83 |
| Mars | 0 | 2 501,49 |
| Avril | 0 | 0 |
| Mai | 0 | 0 |
| Juin | 5 885,07 | 0 |
| Juillet | 3 077,98 | 0 |
| Août | 1 551,67 | 0 |
| Septembre | 2 466,88 | 0 |
| Octobre | 3 241,23 | 0 |
| Novembre | 0 | 1 345,00 |
| Décembre | 0 | 2 056,68 |
| Total | 16 222 | 10 738 |

VII.3.4.6. Détermination de la côte PEN et de la prise

Selon le plan de développement communautaire de Zorgho, il existe un certain nombre de systèmes AEPS dans ou à proximité des villages bénéficiaires.

Ainsi, les besoins humains ne sont pas pris en compte lors de l'utilisation du réservoir, ce qui permet lors de l'exploitation du réservoir de préserver la superficie déjà aménagée (100 hectares) voire d'augmenter la superficie utilisée.

Le littoral du PEN est fixé à 274,2 m pour maintenir le volume du réservoir existant.

Les estimations des apports liquides indiquent que le barrage a des difficultés à remplir la période sèche de 5 ans, les simulations sont donc réalisées sur une période correspondant au fonctionnement du barrage sans apport.

A la fin de la simulation, la surface exploitable reste à 100 hectares en contre-saison jusqu'à fin mars.

Les dimensions de l'ouvrage de prise peuvent donc être fixées à 271,50 m.

La figure 12 montre la simulation de l'exploitation de la retenue et les détails de la simulation sont décrits en annexe 2.

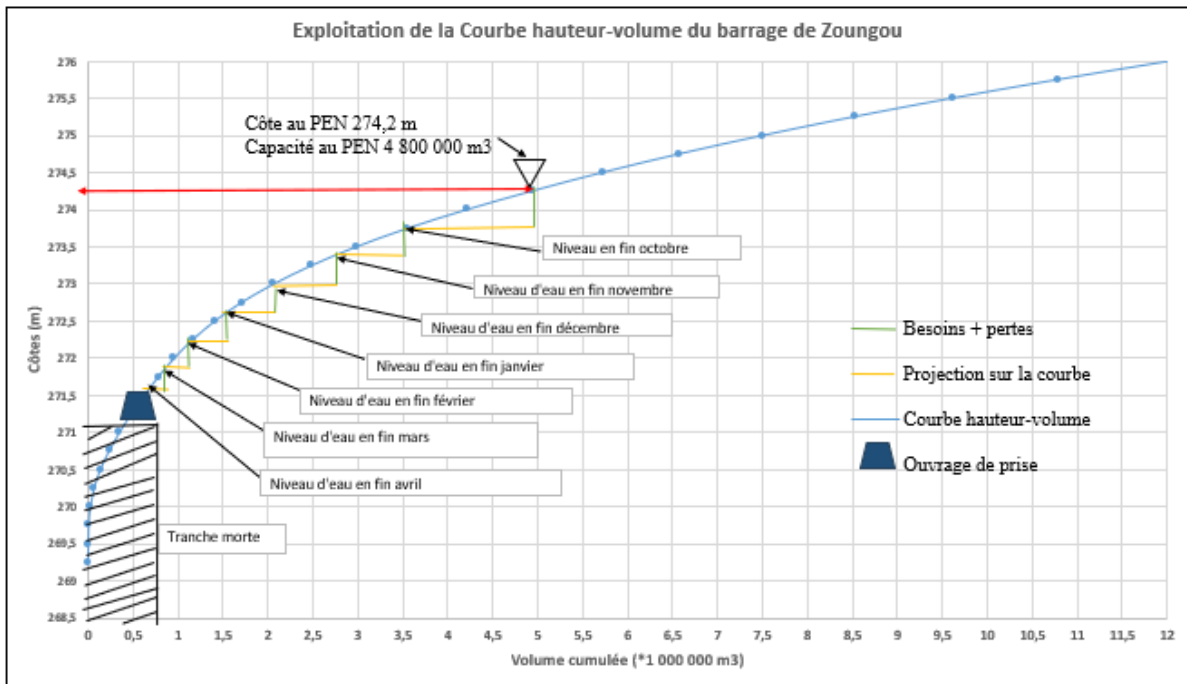


Figure 13: Courbe d'exploitation de la retenue

VII.4. Proposition de conception du barrage réhabilité

VII.4.1. La digue

La hauteur du remblai est de 7 mètres. La largeur de la crête est de 4 m. Les remblais amont et aval adoptent des pentes 2H/1V avec une épaisseur de protection de 50 cm côté amont et 20 cm côté aval. La digue sera en argile compacté et elle sera à la cote 276m. Cependant, pour accroître la sécurité, un mur de parapet est prévu sur la digue pour compenser un risque possible d'immersion lors d'une crue importante. Le mur de parapet sera en béton cyclopéen d'une hauteur de 0,50 m.

L'étude de stabilité du cercle de glissement de Bishop aboutit au facteur de sécurité de la pente $FS = 1,605$, comme le montre la figure 13. Par conséquent, puisque $FS > 1,5$, la pente de la digue est stable.

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

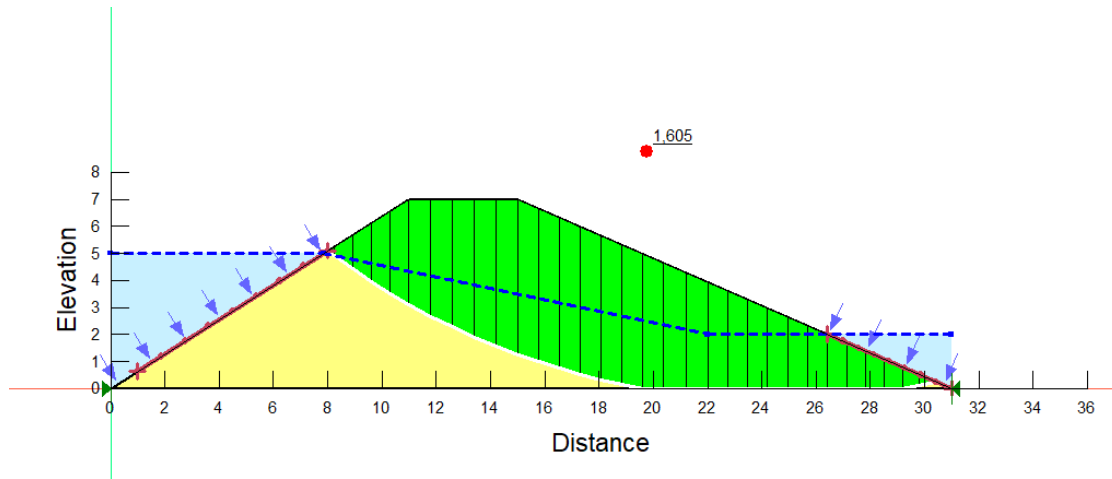


Figure 14: Stabilité de talus de la digue

Tous les détails de conception de la digue se trouvent en annexe 3.

VII.4.2. L'évacuateur de crue

- Vérification de la capacité d'évacuation

L'effondrement des barrages en terre lors de crues majeures est toujours un phénomène particulièrement dangereux. La plupart de ces types de ruptures de barrages sont provoqués par des inondations fréquentes qui dépassent la capacité des systèmes d'évacuation. Par conséquent, nous avons mis en œuvre le laminage par la méthode du Xo pour augmenter la longueur du seuil et réduire le débit du projet à évacuer. L'application de cette méthode avec une lame d'eau déversant de 0,8 recommandé par COMPAORE nous donne une longueur déversant $L = 89$ m avec un débit laminé de $155,66 \text{ m}^3/\text{s}$ (voir annexe 3). Le Tableau 13 récapitule les résultats des calculs de laminage.

Tableau 13: Résultats du calcul de laminage

| | |
|---|--------|
| Longueur déversant L (m) | 89 |
| X0 | 31,32 |
| log10 X0 | 1,50 |
| Coefficient β (%) | 85% |
| Débit maximum évacué Q_{max} (m³/s) | 155,66 |

Les résultats montrent qu'une réduction des inondations est possible avec une lame d'eau h de 0,8 m en élargissant le déversoir.

- **Caractéristiques du déversoir poids et vérification de la stabilité**

Le nouveau déversoir sera de type poids et construit en béton cyclopéen et son sommet sera placé à une hauteur de 274,2 mètres. Les caractéristiques du déversoir proposé sont résumées dans le tableau 14.

Tableau 14: Caractéristiques du déversoir

| Caractéristiques | Déversoir poids |
|----------------------------------|--|
| Type | Poids trapézoïdal en position semi latéral |
| Longueur totale (m) | 89 |
| Largeur en crête (m) | 1 |
| Principaux matériaux | Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m ³ Béton de propreté dosé à 150 kg/m ³ de 5 cm d'épaisseur |
| Profondeur d'ancrage dans le sol | 2 m |

- **Etude de stabilité**

Tableau 15: Résultat de l'étude de stabilité du déversoir

| Stabilité | Paramètres | Valeurs | Conditions de stabilité |
|---------------|---|----------|-----------------------------------|
| Glissement | Coefficient de sécurité Fg | 1,6 | Fg>1.2 |
| Renversement | Coefficient de sécurité Fr | 3,16 | Fr>1.5 |
| Fissuration | Excentricité e (m) | 0,84 | e <b2/6 |
| | b2/6 (m) | 1,60 | |
| | Contrainte minimale σ_{min} | 20,60 | $\sigma_{min}>0$ |
| Rupture | Contrainte limite de béton $\sigma_{lim,béton}$ (KPa) | 7 500 | $\sigma_{max}<\sigma_{lim,béton}$ |
| | Contrainte maximale σ_{max} (Kpa) | 66,95 | |
| Poinçonnement | Contrainte admissible au sol (Kpa) | 1 378,32 | $\sigma_{max} < q_{adm}$ |

Nous avons obtenu des résultats par le tableau 15 avec un coefficient de renversement de 3,16 et un coefficient de glissement de 1,6. Nous pouvons en conclure que la structure est stable contre les renversements et les glissements. Le calcul de l'excentricité e qui est de 0,84 est inférieur à $b/6 = 1,60$, ce qui vérifie la règle du tiers central, et par conséquent garantit l'absence de fissuration et vérifie la stabilité externe. La contrainte maximale est inférieure à la contrainte limite du béton, 7 500 kPa, elle vérifie donc la condition de non rupture. De plus la contrainte maximale soumise au sol est inférieure à la contrainte maximal admissible, ce qui vérifie la condition du non poinçonnement. Les détails de calcul se trouve à l'annexe 3. Nous pouvons donc conclure que la stabilité de la structure proposée a été prouvée.

VII.4.3. Caractéristiques du bassin de dissipation

Le tirant d'eau normal du bassin versant identifié est de 0,7 m, et en utilisant la méthode USBR, le bassin versant correspondant est de type II.

Les principales caractéristiques du bassin sont résumées dans le tableau 16.

Tableau 16: Caractéristiques du bassin de dissipation

| Désignation | Symboles | Valeurs | Unités |
|--|-----------|---------|--------|
| Hauteur (pelle) du déversoir | H_0 | 4,95 | m |
| Hauteur de la lame d'eau évacuée | h | 0,80 | m |
| Enfoncement du bassin de dissipation | D | 1,44 | m |
| Pelle + enfoncement | $H_0 + D$ | 6,45 | m |
| Hauteur normale d'eau d'entrée dans le bassin | y_1 | 0,15 | m |
| Longueur du bassin ou longueur maximale du ressaut | l | 4,5 | m |
| Tirant d'eau dans le chenal | y_n | 0,49 | m |
| Tirant d'eau à la sortie du ressaut | y_2 | 1,49 | m |
| Hauteur et espacement des blocs de chute | h_1 | 0,15 | m |
| Hauteur des blocs chicane | h_2 | 0,34 | m |
| Hauteur du seuil terminal | h_4 | 0,23 | m |
| Épaisseur de béton du bassin de dissipation | e | 0,30 | m |

Le bassin sera construit en béton ordinaire avec une épaisseur de 0,30 m, sur lequel est placée une couche de sable filtrant d'une épaisseur de 0,10 m.

Une série de barbacanes en PVC de 50 mm de diamètre seront utilisés pour relâcher les sous pressions. Le seuil terminal sera réalisé en béton cyclopéen, complétant le bassin de dissipation. Les bassins type USBR II ont une pente de 2H/1V. L'espacement requis entre les blocs chicanes est de 0,30m pour une hauteur de 0,34m ; et les blocs de chutes auront une hauteur de 0,15m pour un espacement de 0,15m également. Le bassin de dissipation sera implanté à la côte de 270,75m. Les détails du calcul sont fournis à l'annexe 3.

VII.4.4. Recalibrage du chenal

Il est prévu en aval du déversoir un chenal ayant une pente 0,003m/m bordé de part et d'autre par des diguettes de protection. Le chenal aura une ouverture de 89m égale à la longueur du déversoir. Il sera placé immédiatement à la suite du bassin de dissipation à la côte de 270,75m. Les diguettes de protection de part et d'autre seront en perré sur les côtés amont pour éviter d'éventuelles effondrements. Afin de traiter le ravinement, un traitement du fond sera fait avec des gabions placés en ligne sur chaque 25m. Ceux qui seront en face du bassin de dissipation auront un béton ordinaire de blocage. Entre les gabions on mettra du remblai.

VII.4.5. Ouvrage de prise et de vidange

Il sera associé à l'ouvrage de prise existant un ouvrage de vidange qui permettra la vidange du barrage en quelques jours. L'ouvrage de prise sera raccordé à l'ancien existant et aura les mêmes caractéristiques à savoir :

- Un bac d'admission amont immergé de côté 1,50 m et 1,50m de profondeur. Les parois du bac ont 0,20 m d'épaisseur et sont réalisées en béton armé. Le bac est fermé par une grille de protection,
- Un bac aval en béton armé équipé d'un robinet vanne DN 500,
- Un bassin de répartition de deux canaux primaires pour la desserte de l'aménagement,
- Une conduite en fonte ductile de DN 500 se raccordant l'ancienne conduite au niveau du bac aval de l'ancienne digue et traversant le corps de la digue avec un enrobage en béton ordinaire de 0,25m d'épaisseur,
- Une crépine adaptée au départ de la conduite à l'amont.

L'ouvrage de vidange est destiné principalement à vider le barrage. Il peut assurer en association avec l'ouvrage de prise les fonctions suivantes :

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

- vidanger complètement la retenue (purge et entretien) en quelques jours,
- Servir éventuellement d'évacuateur auxiliaire,
- Abaisser le niveau d'eau en cas de danger pour le barrage,
- Contrôler la montée du plan d'eau lors du premier remplissage.

VII.4.6. Jonction digue déversoir

La jonction entre la digue et le déversoir se fera par le biais des murs bajoyers. Le dimensionnement a été fait avec le logiciel CYPE 2017 qui a également fourni le plan de ferrailage ainsi que la vérification de la stabilité. Les résultats sont consignés dans le tableau 17.

Tableau 17: Caractéristiques du mur bajoyer

| Désignation | Valeurs |
|---|---------|
| Hauteur du remblai argileux H' (m) | 7,00 |
| Hauteur du mur bajoyer H (m) | 8,00 |
| Epaisseur de la crête du voile e ₀ (m) | 0,25 |
| Epaisseur de la base du voile e ₁ (m) | 0,70 |
| Epaisseur de la semelle e ₂ (m) | 0,70 |
| Largeur de la semelle b (m) | 4,90 |
| Largeur du patin de la semelle b ₁ (m) | 0,00 |
| Largeur du talon de la semelle b ₂ (m) | 4,20 |

La stabilité a été vérifiée sur excel et avec le logiciel cype. Les résultats ci-dessous mènent à la conclusion que le mur de soutènement est stable. Les détails de calculs sont à l'annexe 3.

| Vérification du mur de soutènement | Formule | Valeurs | Appréciation |
|------------------------------------|--|---------|--------------|
| Stabilité au renversement | $\frac{MST}{MR} \geq 1,5$ | 1,80 | Vérifiée |
| Stabilité au non soulèvement (m) | $ e \leq \frac{b}{6} = 0,82$ | 0,52 | Vérifiée |
| Stabilité au poinçonnement (kPa) | $\delta_{max} \leq q_{adm} = 10$ | 1,87 | Vérifiée |
| Stabilité au glissement | $\frac{N * \tan \varphi' * s}{V} \geq 1,2$ | 1,50 | Vérifiée |

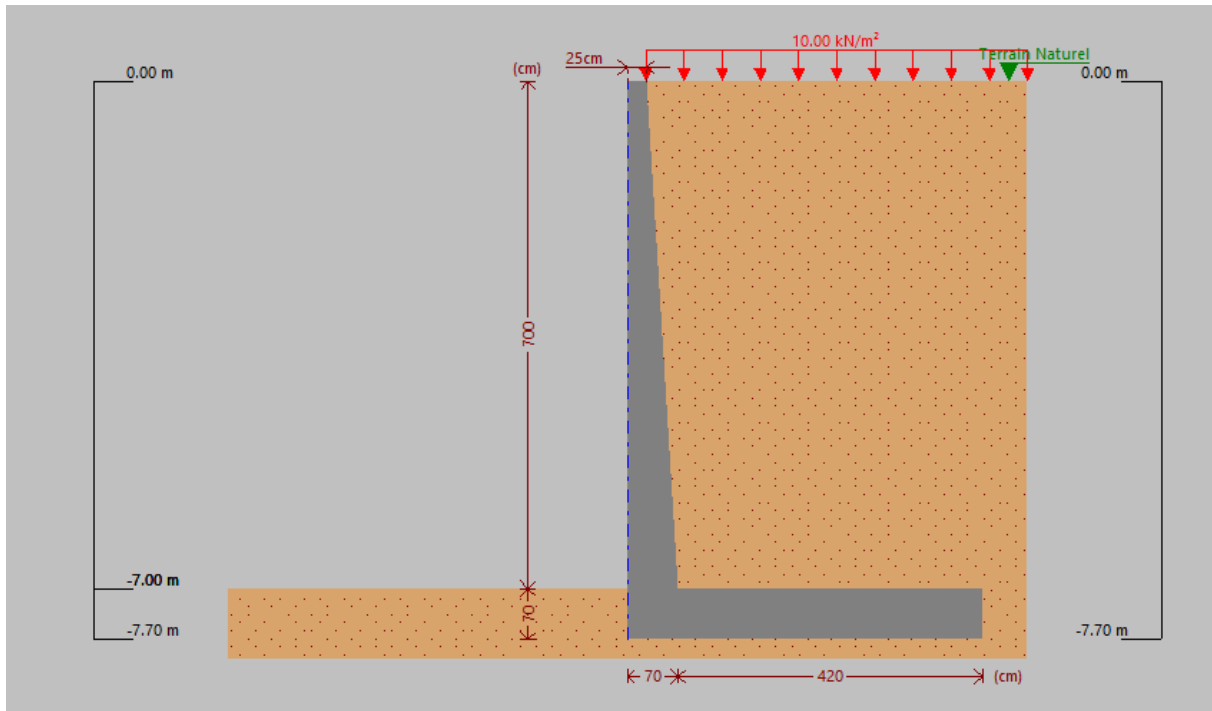


Figure 15: Vue en coupe du mur de soutènement

VII.5. Notice d'impacts environnementales et sociales

VII.5.1 Dispositif d'auscultation et surveillance du barrage

Le dispositif est composé d'échelles limnométriques, fabriquée en usine par unités de 1,00 m. Aussi l'installation de deux piézomètres à l'aval du barrage pour le suivi de la dynamique hydraulique au travers du corps de la digue est prévue. En plus des équipements, un comité de gestion du barrage sera mis en place et formé pour une meilleure exploitation du barrage.

VII.5.2. Notice d'impacts environnementales et sociales

Les principales sources d'impacts environnementaux et sociaux identifiées dans le cadre du projet sont relatives à l'installation du chantier, aux zones d'emprunt des matériaux et les emprises des ouvrages. L'évaluation des impacts a conduit à la proposition des mesures environnementales et sociales visant à atténuer ou compenser les impacts négatifs et optimiser les impacts positifs.

- **Impacts négatifs**

Ce projet de reconstruction aura des conséquences négatives sur l'environnement biophysique et humain. Peut être cité entre autres :

- Perte en végétation ligneuse ;
- Destruction de gîtes avec fuite de la petite faune présente sur le site ;

- Remaniement de sol ;
- Réduction de pâturages ;
- Emission de gaz et de particules de poussière pendant la période des travaux ;
- Bruits émis par les engins ;
- Diminution du volume d'eau de surface et de forage pour la satisfaction des besoins en eau du chantier ;
- **Impacts positifs**

Une fois terminé, le projet aura les conséquences positives suivantes :

- Stockage de l'eau en surface avec remontée de la nappe phréatique ;
- Augmentation des rendements ;
- Création de revenus temporaires à travers la main d'œuvre locale lors des travaux ;
- La fixation des jeunes dans la zone ;
- Accroissement des revenus des bénéficiaires, améliorant ainsi les conditions de vie et fournissant potentiellement des financements à d'autres secteurs tels que les petites entreprises (commerce) ;
- Amélioration du volume des échanges de commerce pendant les travaux.
- **Mesures d'atténuation des impacts négatifs**

Afin de diminuer l'effet des impacts négatifs nous pouvons proposer les mesures suivantes :

- Epargner autant que possible la végétation et faire des reboisements compensatoires
- Informer et sensibiliser en matière de protection de la petite faune présente
- Remettre en état des lieux après les travaux
- Utiliser les résidus de récolte pour palier à la diminution des pâturages
- Maintenance, limitation de la vitesse des engins
- Utilisation de matériel de protection des travailleurs sur le site

VII.6. Devis estimatif et quantitatif de la construction du barrage

Les avant-métrés ont été établis à partir des plans et par nature d'ouvrage. Ils ont pour but de quantifier les travaux, services et fournitures nécessaires à la réalisation des ouvrages. Les avant-métrés et devis quantitatifs sont présentés en annexe. L'application des prix unitaires aux quantitatifs permet d'établir les devis estimatifs pour la réalisation de chaque ouvrage et de l'ensemble des travaux du projet. Les résultats de ces estimations sont joints en annexe 4 au présent mémoire d'études. Le coût des travaux de construction du barrage est à : un milliard

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

trois cent quatre-vingt-treize millions cinq cent huit mille neuf cent trente-huit soit 1 393 508 938 TTC. Une synthèse des prix est proposé dans le tableau 18.

Tableau 18: Synthèse du devis estimatif

| DESIGNATION DES TRAVAUX | Montant FCFA |
|--|---------------|
| Installation et repli du matériel de chantier | 47.000.000 |
| Tranchée d'ancrage et fondation | 85.774.500 |
| Digue | 643.735.398 |
| Evacuateurs de crue | 301.601.187 |
| Ouvrages de prise rive gauche | 46.728.693 |
| Coûts de mise en œuvre des mesures environnementales | 56.100.000 |
| TOTAL T.T.C. | 1.393.508.938 |

VIII. Conclusion

Ce projet d'études d'avant-projet détaillé pour la restauration du barrage de Zoungou fait partie du stage final. La méthodologie appliquée et la proposition de solutions techniques ont permis d'harmoniser les connaissances théoriques acquises avec la pratique en situations réelles. A la fin de l'étude, une option de reconstruction du barrage et des structures associées ont été proposées. En augmentant le seuil de 0,10 m, la capacité de la cuvette augmente un tant soit peu de 4 200 000 à 4 800 000 m³ afin de maintenir l'irrigation en aval. Le coût total de la réhabilitation du barrage de Zoungou est estimé à 1 393 508 938 FCFA (taxes comprises). A terme, le projet contribuera à lutter contre l'insécurité alimentaire, à aider les bénéficiaires à retrouver leur source de revenus. Cependant, ce projet n'est qu'une étape. Pour tirer le meilleur parti de la ressource, nous devons passer à la deuxième étape : le développement des périmètres en aval. Le réservoir pourra répondre aux besoins en eau de 100 hectares pour la culture du riz pluvial et la culture des légumes de contre-saison, déjà en cours de réalisation sur place avant la rupture du barrage, ce qui devrait faciliter la mise en œuvre de l'aménagement. A cet effet, des études de conception préliminaire détaillées devraient être réalisées afin de déterminer la conception de l'aménagement et de proposer les dimensions définitives du réseau d'irrigation et à dynamiser les activités socio-économiques dans le village de Zoungou.

IX. RECOMMANDATIONS

La mise en œuvre de travaux de rénovation est importante pour les groupes de population qui en bénéficient et ne peut donc se limiter à une simple mise en œuvre. Les promoteurs et les bénéficiaires devraient prendre des mesures pour mettre en place des systèmes de maintenance afin d'assurer la durabilité des structures.

✓ Renforcer les capacités des producteurs en aval en termes de protection des infrastructures et de production agricole.

✓ Mise en place des comités de gestion des barrages et formation des membres des comités aux techniques d'entretien des ouvrages hydrauliques pour permettre le suivi et la protection des retenues.

✓ Impliquer les autorités de l'eau (AE) dans la surveillance des barrages en collaboration avec les services locaux des eaux (CLE).

✓ Aménager les voies d'accès aux barrages.

En plus de ces mesures, les gouvernements locaux ont la responsabilité d'investir dans la gestion des ouvrages et de développer des méthodes de gestion en concertation avec les populations affectées, tout en favorisant leur utilisation économique et durable. La participation des femmes est également nécessaire à l'exploitation et à l'entretien des réservoirs.

X. Bibliographie

- [1] S. GIRARD, J. PATUREI, G. MAHE, F. OUATTARA, and A. RES, spatialisation des pluies au burkina faso : impact de la méthode et de la source de données, stress Int. J. Biol. stress, pp. 340-345, 2002.
- [2] Arfa, (2022-04-08), Agriculture au burkina faso, ong arfa, <https://www.ongarfa.org/agriculture-au-burkina-faso/> .
- [3] AIB Az, (2021-08-20), Burkina : 90% des barrages sont en état de dégradation avancé selon le ministre de l'Eau (Actualisé), aib media, <https://www.aib.media/burkina-90-des-barrages-sont-en-etat-de-degradation-avance-selon-le-ministre-de-leau-actualise/>.
- [4] Faolex. FAO, «Décret n° 2009-046/PRES/PM/MEF/MAHRH/MCPEA portant création de l'Agence d'exécution des travaux eau et équipement rural (AGETEER).,» 2009.
- [5] Crues et apports: manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, vol 54, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO, 1996.
- [6] Ministère des ressources animales, Tableau de bord statistique 2012 de l'élevage, 2012.
- [7] Institut Nationale de la Statistique et de la Démographie INSD, Résultats Préliminaires du 5^{ème} RGPH, 2020.
- [8] M. L. COMPAORE, Cours de barrage, EIER, 2^{ème} édition. Ouagadougou, BURKINA FASO, 1996.
- [9] G. Degoutte, Petits Barrages Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi, Cemagref, 2002.
- [10] R. P. M. P. Durand Jean Maurice, Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale, (Ouadougou, Burkina Faso), (Antony, France): EIER ; Cemagref, 1999.
- [11] ITIE-BF, «DECRET N°2015-1187/PRES-TRANS/PM/MERH/MATD/MME/MS/MARHASA/MRA/MICA/MHU/MIDT/MCT DU 22 OCTOBRE 2015 portant conditions et procédure de réalisation et de validation de l'évaluation environnementale stratégique de l'étude,» 2021.
- [12] Institut National de la Statistique et de la démographie INSD, Tableau de bord démographique , 2015.
- [13] Ministère de l'économie et du développement_ Ministère des ressources animales, Deuxième enquête nationale sur les effectifs du cheptel ENEC II, 2003.

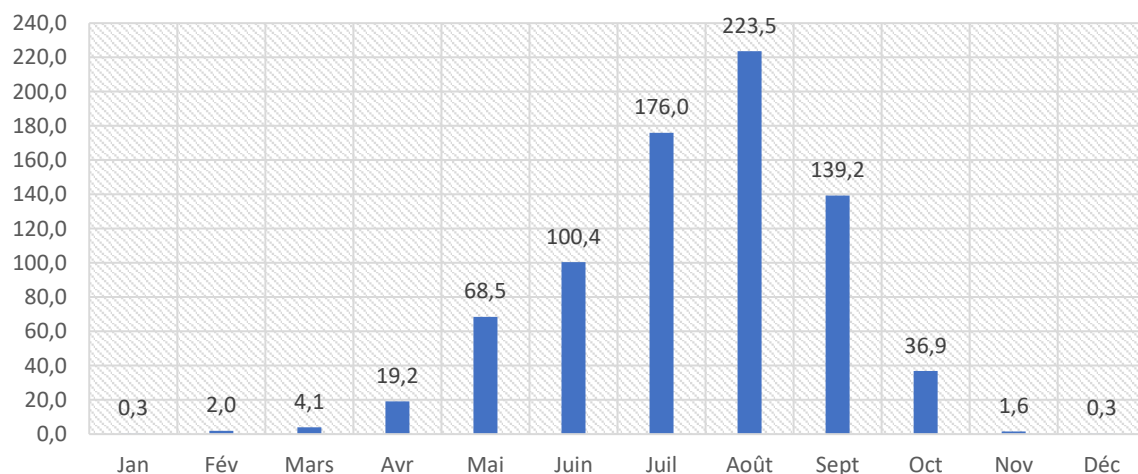
Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

IX. Annexes

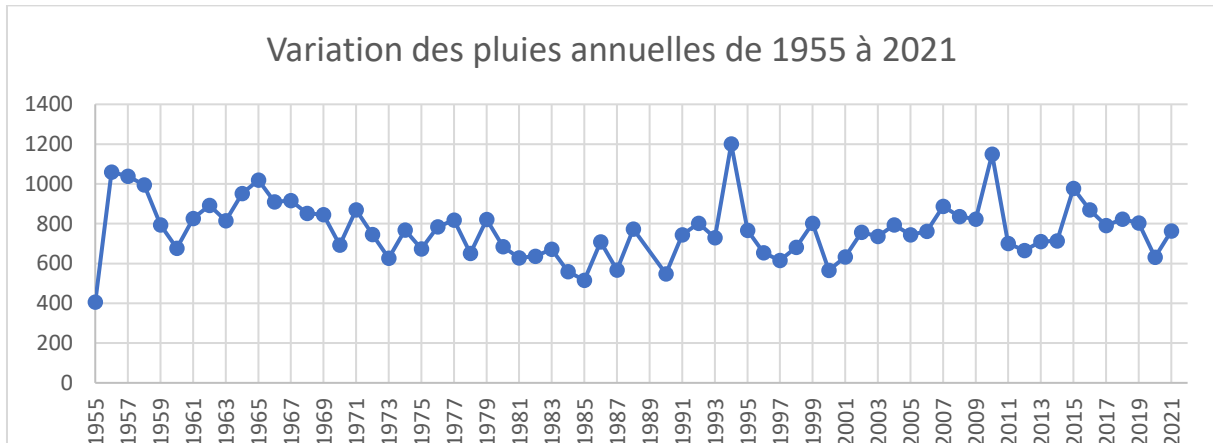
Annexe 1 : étude du bassin versant

| Pluviométrie moyenne mensuelle | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | Jan | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | Juil | Août | Sept | Oct | Nov | Déc |
| Pmoy | 0,3 | 2,0 | 4,1 | 19,2 | 68,5 | 100,4 | 176,0 | 223,5 | 139,2 | 36,9 | 1,6 | 0,3 |
| % Pmoy | 0,03 | 0,26 | 0,53 | 2,49 | 8,88 | 13 | 22,79 | 28,95 | 18,03 | 4,78 | 0,21 | 0,04 |
| ET | 1,57 | 8,31 | 10,04 | 21,79 | 42,85 | 40,42 | 76,12 | 67,03 | 52,37 | 32,86 | 6,35 | 1,47 |
| CV | 2% | 3% | 5% | 11% | 21% | 32% | 30% | 43% | 34% | 15% | 3% | 3% |
| Pe | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 31,1 | 56,3 | 116,8 | 154,8 | 87,4 | 12,1 | 0 | 0 |
| ETO | 178,87 | 178,64 | 220,72 | 221,4 | 213,28 | 168,9 | 132,99 | 125,86 | 129,9 | 163,99 | 161,4 | 161,82 |

Moyenne des pluies mensuelles



Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

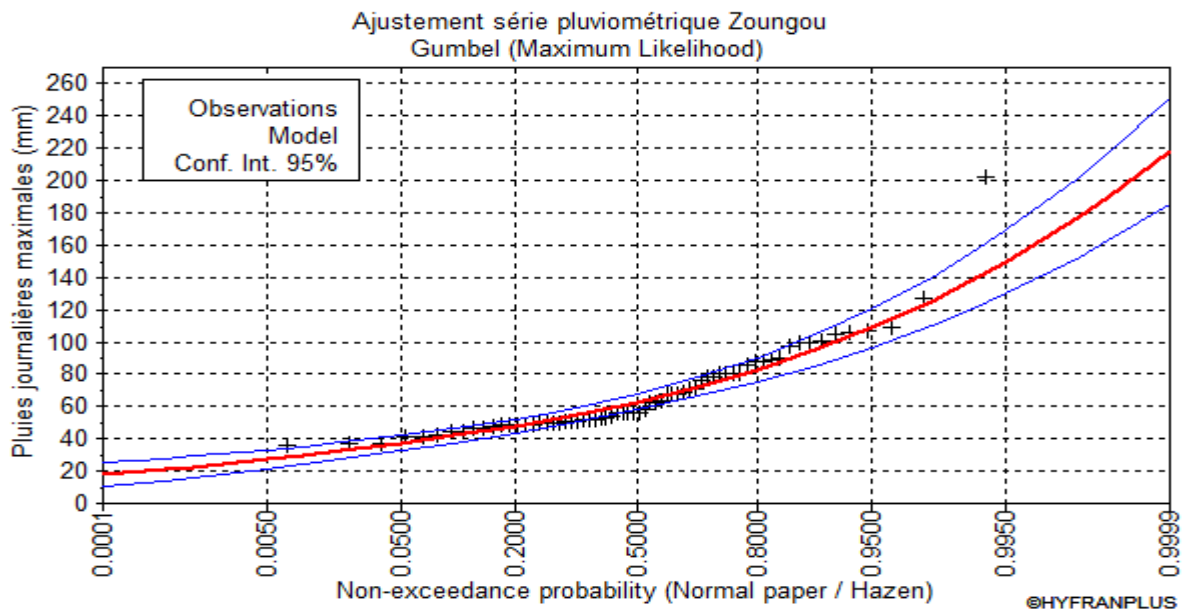
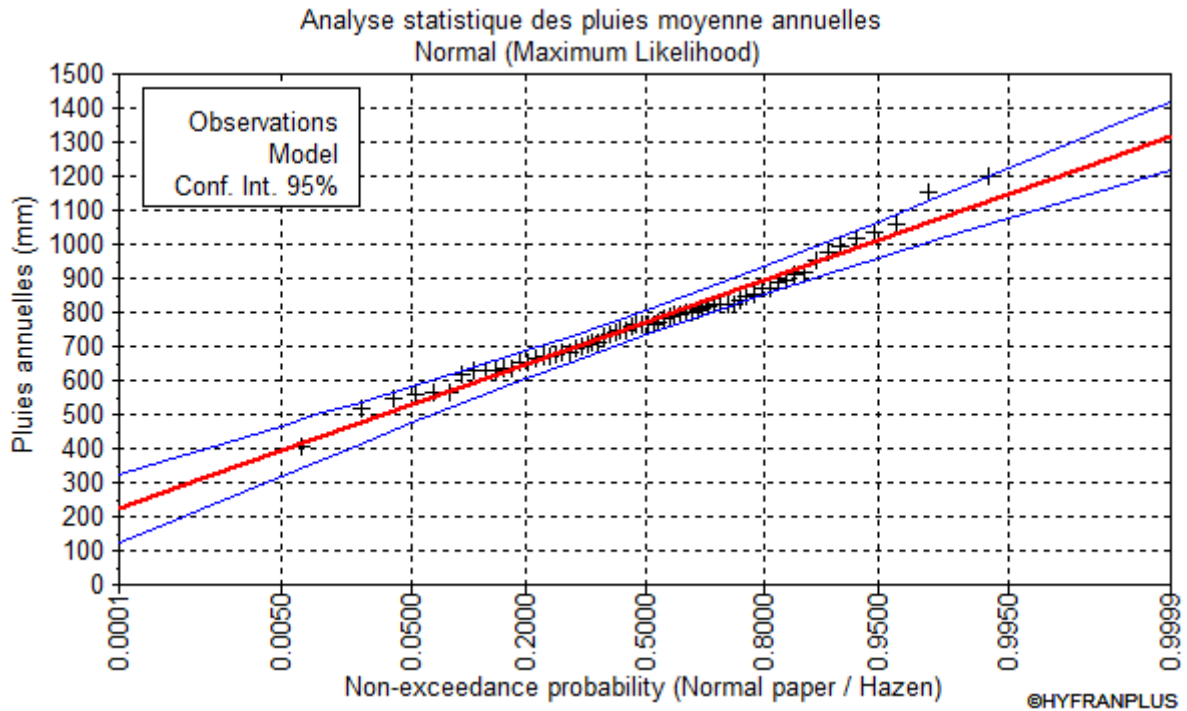


| Interpolation du temps de base | | | | |
|---------------------------------------|------|-----------|----------------------------|---------|
| lg (m/km) | 1 | Tb10 (mn) | $560 \cdot S^{0,36} + 400$ | 4032 |
| | 3 | Tb10 (mn) | $325 \cdot S^{0,36} + 315$ | 2423 |
| lg ret (m/km) | 1,75 | Tb10 (mn) | | 3428,15 |

| Détermination du Temps de montée | | | | | | |
|--|-------|-----|----|------|-------------|------------------|
| Kr 70 | | | | | | Kr 10 (%) |
| Infiltrabilité | Pente | a | b | c | Kr70,i (%) | 16,10 |
| RI | 3 | 150 | 20 | 15 | 15,75 | |
| | 7 | 200 | 20 | 18,5 | 19,5 | |
| Kr70 (%) par interpolation avec lg ret=1,75 | | | | | 14,58 | |
| Kr 100 | | | | | | |
| Infiltrabilité | Pente | a | b | c | Kr100,i (%) | |
| RI | 3 | 200 | 30 | 17 | 17,95 | |
| | 7 | 240 | 30 | 22 | 23,14 | |
| Kr100 (%) par interpolation avec lg ret=1,75 | | | | | 16,33 | |

| Détermination du Temps de montée (hrs) | |
|---|------------|
| Tm10 (mn) | 1142,72 |
| Tm10 (hrs) | 19,05 |
| Tm10 (hs) | 68563,0136 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso



| Données de tracé pour la Courbe Hypsométrique | | | |
|---|-------------|-------------|------------|
| Surf partielle | Surf cumulé | % partiel | % total |
| 11,79609948 | 11,79609948 | 6,544084912 | 100 |
| 25,27016751 | 37,06626699 | 14,01905114 | 93,4559152 |
| 27,02162469 | 64,08789169 | 14,99070152 | 79,436864 |
| 31,62979246 | 95,71768415 | 17,54716022 | 64,4461625 |
| 30,56171938 | 126,2794035 | 16,95462869 | 46,8990023 |
| 26,0882845 | 152,367688 | 14,47291533 | 29,9443736 |
| 15,49997084 | 167,8676589 | 8,598869946 | 15,4714583 |
| 9,969159588 | 177,8368185 | 5,530559228 | 6,87258832 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | |
|------------|-------------|-------------|------------|
| 2,41908669 | 180,2559051 | 1,342029094 | 1,34202909 |
|------------|-------------|-------------|------------|

Pour la zone tropicale sèche, on a une pluviométrie médiane comprise entre 750 et 1000 mm. La lame d'eau écoulée $L_{e,805}$ relative à une période de retour de la pluie (moyenne, quinquennale ou décennale) du bassin versant du barrage est déterminée par interpolation logarithmique entre deux valeurs de la pluviométrie qui encadrent la pluviométrie médiane de la localité (805 mm) à l'aide de la formule suivante :

$$\log(L_{e,805}) = \log(L_{e,750}) + [(\log(L_{e,1000}) - \log(L_{e,750})) \times \frac{805 - 750}{1000 - 750}]$$

$$L_{e,805} = 10^{\log(L_{e,750})}$$

$L_{e,750}$ et $L_{e,1000}$ sont déterminées grâce à la figure ci-dessous :

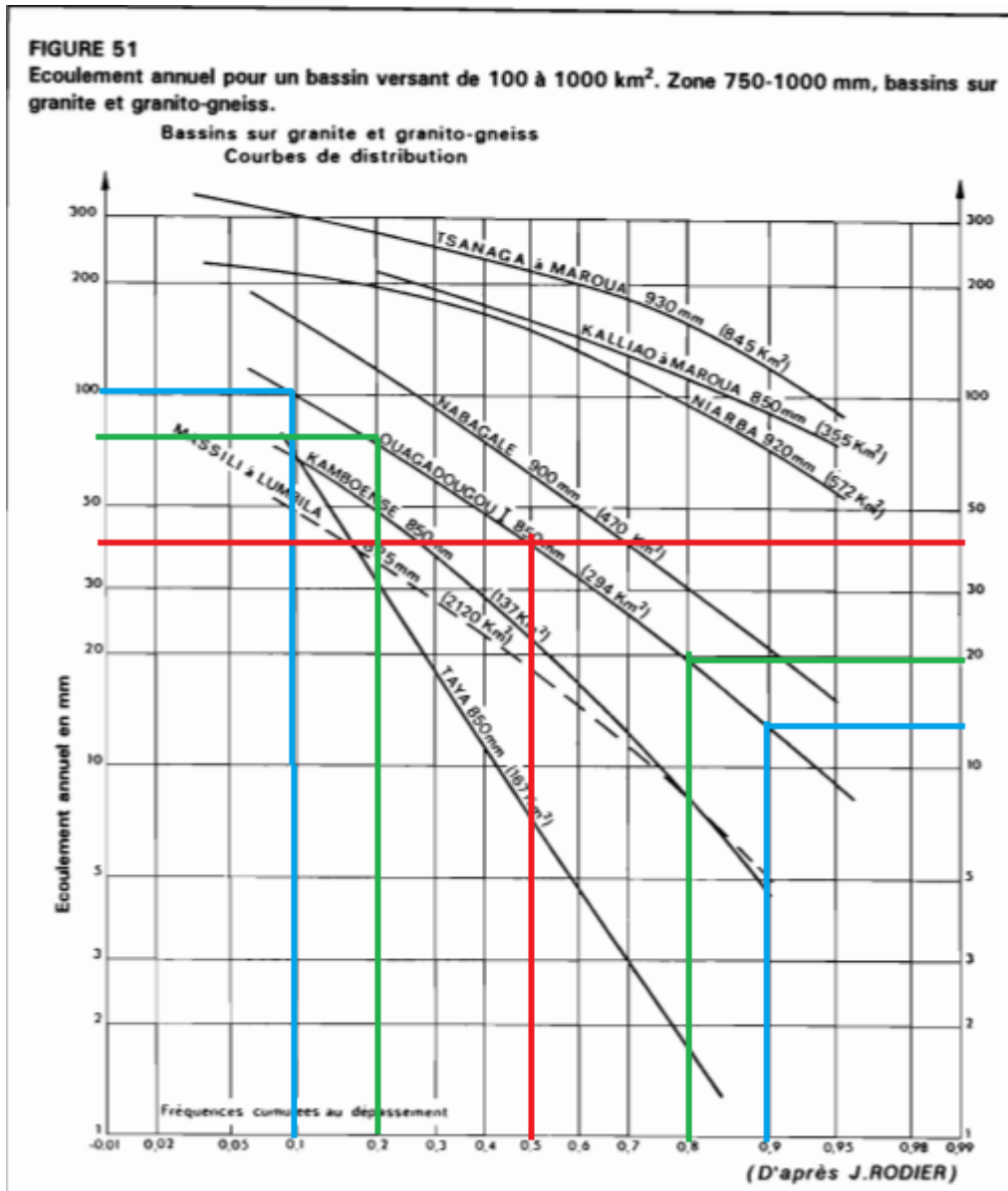


Figure 16: Détermination de la lame d'eau écoulé bassin type de Ouagadougou I

Annexe 2 : Besoins en eau

| Données pour tracer la courbe hauteur-surface et hauteur-volume | | | | | |
|--|--|--------------------------------|--|---|---------------------------------------|
| Côtes (m) | Surface partielle (m²) | Hauteur (Dénivelée) (m) | Surface moyenne (m²) | Volume élémentaire (m³) | Volume cumulée (m³) |
| 269,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 269,50 | 11 765,35 | 0,25 | 5 882,67 | 1 470,67 | 1 470,67 |
| 269,75 | 20 916,11 | 0,25 | 16 340,73 | 4 085,18 | 5 555,85 |
| 270,00 | 130 124,48 | 0,25 | 75 520,29 | 18 880,07 | 24 435,92 |
| 270,25 | 208 033,24 | 0,25 | 169 078,86 | 42 269,71 | 66 705,64 |
| 270,50 | 341 137,97 | 0,25 | 274 585,61 | 68 646,40 | 135 352,04 |
| 270,75 | 435 788,60 | 0,25 | 388 463,29 | 97 115,82 | 232 467,86 |
| 271,00 | 485 671,39 | 0,25 | 460 730,00 | 115 182,50 | 347 650,36 |
| 271,25 | 553 712,09 | 0,25 | 519 691,74 | 129 922,94 | 477 573,29 |
| 271,50 | 604 916,28 | 0,25 | 579 314,19 | 144 828,55 | 622 401,84 |
| 271,75 | 660 907,03 | 0,25 | 632 911,66 | 158 227,91 | 780 629,75 |
| 272,00 | 748 324,46 | 0,25 | 704 615,75 | 176 153,94 | 956 783,69 |
| 272,25 | 906 158,72 | 0,25 | 827 241,59 | 206 810,40 | 1 163 594,09 |
| 272,50 | 1 059 529,75 | 0,25 | 982 844,24 | 245 711,06 | 1 409 305,15 |
| 272,75 | 1 310 037,90 | 0,25 | 1 184 783,82 | 296 195,96 | 1 705 501,10 |
| 273,00 | 1 574 971,18 | 0,25 | 1 442 504,54 | 360 626,13 | 2 066 127,24 |
| 273,25 | 1 802 411,07 | 0,25 | 1 688 691,12 | 422 172,78 | 2 488 300,02 |
| 273,50 | 2 156 978,52 | 0,25 | 1 979 694,80 | 494 923,70 | 2 983 223,72 |
| 273,75 | 2 435 991,10 | 0,25 | 2 296 484,81 | 574 121,20 | 3 557 344,92 |
| 274,00 | 2 800 207,52 | 0,25 | 2 618 099,31 | 654 524,83 | 4 211 869,75 |
| 274,25 | 2 996 548,69 | 0,25 | 2 898 378,11 | 724 594,53 | 4 936 464,27 |
| 274,50 | 3 279 007,70 | 0,25 | 3 137 778,20 | 784 444,55 | 5 720 908,82 |
| 274,75 | 3 556 291,96 | 0,25 | 3 417 649,83 | 854 412,46 | 6 575 321,28 |
| 275,00 | 3 908 813,92 | 0,25 | 3 732 552,94 | 933 138,24 | 7 508 459,51 |
| 275,25 | 4 167 255,52 | 0,25 | 4 038 034,72 | 1 009 508,68 | 8 517 968,19 |
| 275,50 | 4 566 582,86 | 0,25 | 4 366 919,19 | 1 091 729,80 | 9 609 697,99 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| Population à l'horizon du projet | | |
|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| Localité | Population RGP 2019 | Population Horizon projet (2052) |
| Badnogo | 433 | 937,95 |
| Tanghin | 1940 | 4 202,35 |
| Tamsweoghin | 1638 | 3 548,17 |
| Wemyaoghin | 1736 | 3 760,45 |
| Zantonré | 1395 | 3 021,79 |
| Zoungou | 2943 | 6 375,01 |
| Total | 10085 | 21 845,73 |

| Population totale gros bétail | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|---|--|
| Désignation | Nombre de têtes locaux 2022 | Nombre de tête local horizon du projet (2052) | Consommation spécifique par type de tête (l/j) |
| Asins | 50 | 91 | 30 |
| Bovins | 500 | 906 | 40 |
| Total | 550 | 996 | 70 |
| Facteur UBT | 0,80 | 0,80 | |
| Total UBT | 440 | 796 | |

| Population totale petit bétail | | | |
|--------------------------------|---------------------------|---|--|
| Désignation | Nombre de tête local 2022 | Nombre de tête local horizon du projet (2052) | Consommation spécifique par type de tête (l/j) |
| Caprins | 1 500 | 3 641 | 10 |
| Ovins | 1 000 | 2 427 | 10 |
| Porcins | 100 | 243 | 10 |
| Volailles | 3 000 | 7 282 | 0,20 |
| Total | 5 600 | 6 311 | 30,2 |
| Facteur UBT | 0,65 | 0,65 | |
| Total UBT | 3 640 | 4 102 | |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| Récapitulatif Besoin | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Mois | Besoin Riz (m3) | Besoin maraîchage (m3) | Besoin humain (m3) | Besoin Cheptel (m3) | Total besoin (m3) |
| Janvier | 0 | 250 418,00 | 16 930,4 | 5 567,61 | 272 916,05 |
| Février | 0 | 233 082,67 | 15 292,0 | 5 028,81 | 253 403,49 |
| Mars | 0 | 250 149,33 | 16 930,4 | 5 567,61 | 272 647,39 |
| Avril | 0 | 0 | 16 384,3 | 5 388,01 | 21 772,31 |
| Mai | 0 | 0 | 16 930,4 | 5 567,61 | 22 498,05 |
| Juin | 588 506,67 | 0 | 16 384,3 | 5 388,01 | 610 278,98 |
| Juillet | 307 798,00 | 0 | 16 930,4 | 5 567,61 | 330 296,05 |
| Août | 155 166,67 | 0 | 16 930,4 | 5 567,61 | 177 664,72 |
| Septembre | 246 688,00 | 0 | 16 384,3 | 5 388,01 | 268 460,31 |
| Octobre | 324 122,67 | 0 | 16 930,4 | 5 567,61 | 346 620,72 |
| Novembre | 0 | 134 500,00 | 16 384,3 | 5 388,01 | 156 272,31 |
| Décembre | 0 | 205 668,00 | 16 930,4 | 5 567,61 | 228 166,05 |
| Total | 1 622 282 | 1 073 818 | 199 342,0 | 65 554 | 2 960 996,00 |

| Données de la courbe d'exploitation | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Mois | Besoins en eau (m3) | Besoins en eau (mm) | Pertes total (mm) | Besoins+Pertes (mm) |
| Octobre | 329 690,28 | 733,52 | 226,45 | 959,97 |
| Novembre | 139 888,01 | 365,11 | 230,43 | 595,54 |
| Décembre | 211 235,61 | 705,34 | 239,21 | 944,55 |
| Janvier | 255 985,61 | 634,86 | 245,91 | 880,76 |
| Février | 238 111,48 | 607,42 | 240,16 | 847,58 |
| Mars | 255 716,95 | 634,45 | 278,35 | 912,80 |
| Avril | 5 388,01 | 338,63 | 267,23 | 605,86 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| Besoins en eau du riz | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|---------------------------------------|----------|--|---------------|----|-----------|----|------------|----|--------|
| Mois | Juin | | Juillet | | Août | | Septembre | | Octobre | | Total |
| Nombre de jours | 30 | | 31 | | 31 | | 30 | | 31 | | 153 |
| Phase de croissance végétative | Pépièr e | Préparation du sol et repiquage | Initiale | | Développement | | Mi-saison | | Maturation | | |
| Nombre de jours de la phase | 30 | 0 | 20 | | 11 | 19 | 12 | 28 | 2 | 28 | |
| Kc par phase | 1,2 | 0 | 1,1 | | 1,15 | | 1,2 | | 0,8 | | |
| Kc mensuel | 1,20 | | 1,12 | | 1,17 | | 1,17 | | 0,80 | | |
| Eto mensuelle (mm) | 168,90 | | 132,99 | | 125,86 | | 129,90 | | 163,99 | | 721,64 |
| ETM mensuelle (mm) | 202,68 | | 148,65 | | 147,18 | | 152,42 | | 131,19 | | 782,11 |
| Pluie efficace mensuelle (mm) | 56,30 | | 116,80 | | 154,80 | | 87,40 | | 12,10 | | 427,40 |
| Saturation du sol (mm) | | 75 | | | | | | | | | |
| Remplissage après repiquage (mm) | | 100 | | | | | | | | | |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|--|
| Remplissage après dose d'engrais (mm) | | | 75 | 75 | | | |
| Besoins mensuels en eau pour entretien et percolation (mm) | 120,00 | 124,00 | 124,00 | 120,00 | 124,00 | | |
| Besoins mensuels net (mm) | 441,38 | 230,85 | 116,38 | 185,02 | 243,09 | 1216,71 | |
| Efficiéce du système | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | | |
| Besoins mensuels bruts (mm) | 588,51 | 307,80 | 155,17 | 246,69 | 324,12 | 1 622,28 | |
| Besoins mensuels bruts (m3/ha) | 5885,07 | 3077,98 | 1551,67 | 2466,88 | 3241,23 | 16 222,82 | |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| Besoins en eau de l'oignon | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------|---------------|----------|-----------|---------|---|------------|----|--------|--------|
| Mois | Novembre | | Décembre | | Janvier | | Février | | Mars | Total |
| Nombre de jours | 30 | | 31 | | 31 | | 28 | | 31 | 151 |
| Phase de croissance végétative | Initiale | Développement | | Mi-saison | | | Maturation | | | |
| Nombre de jours de la phase | 15 | 15 | 10 | 21 | 31 | 0 | 18 | 10 | 30 | |
| Kc par phase | 0,5 | 0,75 | | 1,05 | | | 0,85 | | | |
| Kc mensuel | 0,63 | | 0,95 | | 1,05 | | 0,98 | | 0,85 | |
| Eto mensuelle (mm) | 161,40 | | 161,82 | | 178,87 | | 178,64 | | 220,72 | 901,45 |
| ETM mensuelle (mm) | 100,88 | | 154,25 | | 187,81 | | 174,81 | | 187,61 | 805,36 |
| Pluie efficace mensuelle (mm) | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | 0 |
| Besoins mensuels nets (mm) | 100,88 | | 154,25 | | 187,81 | | 174,81 | | 187,61 | 805,36 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | | | | |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Efficiene du système | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | |
| Besoins mensuels bruts (mm) | 134,50 | 205,67 | 250,42 | 233,08 | 250,15 | 1 073,82 |
| Besoins mensuels bruts (m3/ha) | 1345,00 | 2056,68 | 2504,18 | 2330,83 | 2501,49 | 10 738,18 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

Annexe 3 : Etudes de conception

| Laminage de crue | | | | | | | | | |
|------------------------|--|------------------------|--------------------------|--|---|-------|----------|-------------------|--|
| Longueur déversant (m) | Surface du plan d'eau normal S (m ²) | Coefficient de débit m | Temps de montée tm10 (s) | Débit de pointe de crue Qpmax(m ³ /s) | Accélération de la pesanteur g(m/s ²) | X0 | log10 X0 | Coefficient β (%) | Débit max évacué Qemax (m ³ /s) |
| 147,61 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 85,69 | 1,93 | 89,3% | 164,50 |
| 94,32 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 34,99 | 1,54 | 85,4% | 157,32 |
| 90,20 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 32,00 | 1,51 | 85,0% | 156,58 |
| 89,77 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 31,70 | 1,50 | 84,5% | 155,66 |
| 89,25 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 31,32 | 1,50 | 84,5% | 155,66 |
| 89,25 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 31,32 | 1,50 | 84,5% | 155,66 |
| 89,25 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 31,32 | 1,50 | 84,5% | 155,66 |
| 89,25 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 31,32 | 1,50 | 84,5% | 155,66 |
| 89,25 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 31,32 | 1,50 | 84,5% | 155,66 |
| 89,25 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 31,32 | 1,50 | 84,5% | 155,66 |
| 89,25 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 31,32 | 1,50 | 84,5% | 155,66 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| Résultats récapitulatifs du laminage des crues | | | | | | | | | |
|---|---|-------------------------------|---------------------------------|---|--|-----------|-----------------|--------------------------|---|
| Longueur deversante L (m) | Surface du plan d'eau normal S (m²) | Coefficient de débit m | Temps de montée tm10 (s) | Débit de pointe de crue Qcmax(m³/s) | Accélération de la pesanteur g(m/s²) | X0 | log10 X0 | Coefficient β (%) | Débit maximum évacué Qemax (m³/s) |
| 89 | 2 842 300 | 0,39 | 68 563,01 | 184,21 | 10,00 | 31,32 | 1,50 | 85% | 155,66 |

| Calcul du débit de rupture | | | | | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|---|---|
| Longueur du déversoir L (m) | Charge déversante du seuil (m) | Revanche (m) | Revanche totale a (m) | Longueur de la digue (m) | Longueur digue - Longueur du déversoir L (m) | Débit de rupture Qrupt (m³/s) |
| 89 | 0,80 | 0,80 | 1,60 | 993 | 904 | 566,61 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| Calcul de la revanche | | |
|---|--|----------------|
| Désignation | Formules | Valeurs |
| Formule de Molitor | | |
| Hauteur actuelle du barrage (m) | | 6,5 |
| Pente longitudinale l | $l = \frac{0,026}{S^{0,5}}$ | 1,94 |
| Fetch f (km) | $f = \frac{Hb}{Pente}$ | 3,35 |
| Vitesse du vent (m/s) au burkina | | 3,00 |
| Vitesse du vent (km/h) | | 10,80 |
| Hauteur des vagues hv (m) | $h = 0,76 + 0,032 \sqrt{U \times f} - 0,26$ | 0,60 |
| Formule de Stevenson | | |
| Hauteur des vagues hv (m) | $h = 0,75 + 0,34 \sqrt{f} - 0,36 \times \sqrt[4]{f}$ | 0,89 |
| Nous retiendrons la formule de Stevenson pour calculer la revanche pour se placer en condition défavorable. | | |
| Formule de Gaillard | | |
| Vitesse des vagues V (m/s) | $V = 1,5 + 2 \times h$ | 3,27 |
| Revanche (m) | $R = 0,75 \times h + \frac{Vv^2}{2g}$ | 1,21 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| Formule Simplifiée | | |
|--|----------------|-------------|
| Volume de la retenue (Million de m ³) | | 4,79 |
| Constante | $H^2 \sqrt{V}$ | 92,48 |
| Cette valeur est comprise entre 30 et 100, normalement on devait dimensionner le barrage avec une crue d'une période de retour de 1000ans mais pour des raisons économiques nous allons utiliser une crue centennale (100ans) pour le dimensionnement des ouvrages du barrage. | | |
| Revanche mini pour 30 (m) | | 0,60 |
| Revanche mini pour 100 (m) | | 0,80 |
| Revanche mini pour 92,48 (m) | | 0,78 |
| | | |
| Moyenne des formules simplifiées et de Molitor_Gaillard (m) | | 0,99 |
| Valeur retenue de la revanche | | 1,00 |

Calcul de la largeur en crête de la digue

| Désignation | Formules | Valeurs |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| Formule de KNAPPEN | | |
| Revanche R (m) | | 1,00 |
| Charge déversante sur seuil h (m) | | 0,80 |
| Hauteur du déversoir Hd (m) | | 4,95 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|--|----------------------------|------|
| Hauteur du barrage ou de la digue H _b (m) | $H_b = H_d + h + R$ | 7 |
| Largeur en crête L _c (m) | $L_c = 1,65 \sqrt{H_b}$ | 4,29 |
| Formule de PREECE | | |
| Revanche R (m) | | 1,00 |
| Charge déversante sur seuil h (m) | | 0,80 |
| Hauteur du déversoir H _d (m) | | 4,95 |
| Hauteur du barrage ou de la digue H _b (m) | $H_b = H_d + h + R$ | 7 |
| Largeur en crête L _c (m) | $L_c = 1 + 1,1 \sqrt{H_b}$ | 3,86 |
| Largeur en crête retenue L _c (m) | | 4,00 |

Calcul de l'épaisseur des enrochements

| Désignation | Formules | Valeurs |
|---|------------------|---------|
| Hauteur des vagues h _v (m) | | 0,89 |
| D ₅₀ | | 0,30 |
| Epaisseur des enrochements e (m) | $e = 1,5 D_{50}$ | 0,45 |
| Epaisseur retenue des enrochements amont (cm) | | 50 |
| Epaisseur retenue des enrochements aval (cm) | | 20 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

Calcul du débit de fuite et des dimensions du drain

| Désignation | Formules | Valeurs |
|---|---|----------|
| Largeur en crête retenue L_c (m) | | 4 |
| Pente des talus amont et aval | | 2H/1V |
| Largeur de fondation (m) | $L_f = L_c + (m_{amont} + m_{aval}) \times H_b$ | 31 |
| Longueur du drain horizontal (m) | $L_d = \frac{L_f}{4}$ | 8 |
| X (m) | $X = L_f - L_d$ | 23 |
| d (m) | $d = X - 0,7b$ | 16,3 |
| Y_o (m) | $Y_o = \sqrt{H_d^2 + d^2} - d$ | 0,73 |
| Perméabilité du matériaux argileux K_{ar} (m/s) | | 1,0E-07 |
| Débit de fuite (m ² /s) | $q = K_{ar} \times Y_o$ | 7,34E-08 |
| Perméabilité du sable grossier pour drain K_d (m/s) | | 1,00E-05 |
| Epaisseur du drain e_d (m) | $e_d = 2 \sqrt{\frac{qL_d}{k_d}}$ | 0,48 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | |
|--------------------------------|----|
| Epaisseur du drain retenu (cm) | 50 |
|--------------------------------|----|

| ETUDE DU DEVERSOIR DE TYPE TRAPEZOIDALE avec des formules valables pour b1 = 1m que nous avons pris comme hypothèse | | |
|--|--|----------------|
| Désignation | Formules | Valeurs |
| Calcul des charges agissant sur le déversoir | | |
| Hauteur du déversoir H _d (m) | | 4,95 |
| Charge déversante sur seuil h (m) | | 0,8 |
| Hauteur des dépôts de sédiments h _{séd} (m) | | 2,45 |
| Poids volumique de l'eau (KN/m ³) | | 10 |
| Poids volumique du sol (KN/m ³) | | 20 |
| Poussée hydrostatique P _e (KN/ml) | $P_e = 5Hr^2 + 8Hr$ | 162,11 |
| Pression interstitielle en A U _A (KN/ml) | $U_A = \gamma_w \times \left[h + \frac{2}{3} \times (H_r - h) \right]$ | 36 |
| Pression interstitielle en B U _B (KN/ml) | $U_B = \gamma_w \times h$ | 8 |
| Résultante de la pression interstitielle U (KN/ml) | $U = \frac{1}{2} (U_A + U_B) \times b_2$ | 209,0 |
| Poussée des terres (sédiments) P _t (KN/ml) | $P_t = \frac{1}{2} \times \gamma_{séd} \times h_{séd}^2 \times K_a$ | 9,90 |
| Poids propre du déversoir W (KN/ml) | $W = 12Hr^2 \tan \alpha + 24Hr$ | 628 |
| | Pour se mettre dans les conditions les plus défavorable c'est-à-dire pour une roche dure | 0,65 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|---|--|----------------|
| tan (φ) | | |
| Vérification de la stabilité au glissement | | |
| Vérification de la stabilité au glissement | $F_G = \frac{(W - U) \times \tan \varphi}{P_e + P_t}$ | $F_G \geq 1,2$ |
| tan (αg) | $\left[\frac{6 \text{ Hr}^2 - \frac{23}{6} \text{ Hr} + 27,5666}{\left(\frac{33,8}{6} \text{ Hr}^2 - \frac{10,4}{3} \text{ Hr} \right)} \right]$ | 1,29 |
| αg (angle vérifiant la stabilité au glissement) | $\tan^{-1} \left[\frac{6 \text{ Hr}^2 - \frac{23}{6} \text{ Hr} + 27,5666}{\left(\frac{33,8}{6} \text{ Hr}^2 - \frac{10,4}{3} \text{ Hr} \right)} \right]$ | 52,16 |
| Vérification de la stabilité au renversement | | |
| Vérification de la stabilité au renversement | $F_R = \frac{\sum M/B(W - U)}{\sum M/B (P_e + P_t)}$ | $F_R \geq 1,5$ |
| Constante K1 | $K1 = \frac{62}{9} \text{ Hr}^3 - \frac{28}{9} \text{ Hr}^2$ | 759,3 |
| Constante K2 | $K2 = \frac{196}{9} \text{ Hr}^2 - \frac{56}{9} \text{ Hr}$ | 503 |
| Constante K3 | $K3 = -\frac{7,5}{3} \text{ Hr}^3 - 6 \text{ Hr}^2 + \frac{98}{9} \text{ Hr} - \frac{64,479025}{9}$ | -403,50 |
| Racine positive de l'équation après résolution | | 0,47 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|---|--|--------------|
| α (angle vérifiant la stabilité au renversement) | | 26,17 |
| Valeur retenue de l'angle α retenu | 52,16 | 60,00 |
| Vérification à la non fissuration | | |
| Largeur de fondation du déversoir b_2 (m) | $b_2 = b_1 + Hr \tan \alpha$ | 9,6 |
| Calcul de $(b_2/6)$ | | 1,60 |
| tangente (αretenu) | | 1,73 |
| Abscisse du centre de gravité du déversoir $X_{G_{ouv}}$ (m) | $X_{G_{ouv}} = \left[\frac{0,5 + \frac{Hr^2 \tan^2 \alpha}{6} + 0,5Hr \times \tan \alpha}{1 + 0,5Hr \tan \alpha} \right]$ | 3,22 |
| Ordonnée du centre de gravité du déversoir $Y_{G_{ouv}}$ (m) | $Y_{G_{ouv}} = \left[\frac{Hr + \frac{1}{3} \times Hr^2 \tan \alpha}{2 + Hr \tan \alpha} \right]$ | 1,81 |
| W - U (KN/ml) | $W-U = \frac{70,4}{6} Hr^2 \tan \alpha Hr^2 - \frac{46,72}{6} Hr \tan \alpha Hr^2 + 24Hr - \frac{46,72}{6}$ | 419,05 |
| Pe + Pt (KN/ml) | $Pe + Pt = 5Hr^2 + 8Hr + 4,7685$ | 166,88 |
| Calcul de e (point d'application de la résultante des charges/centre de gravité) | $e = X_{G_{ouv}} + \left(Y_{G_{ouv}} \times \frac{P_e + P_t}{W-U} \right) - \frac{b_2}{2}$ | -0,84 |
| Vérification à la non rupture | | |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|---|--|-------|
| Résistance caractéristique du béton f_{c28} (MPa) | | 25 |
| Contrainte limite du béton (KPa) | $\sigma_{lim, \text{béton}} = 0,3 \times f_{c28} * 1000$ | 7 500 |
| Contrainte maximale du béton (KPa) | $\sigma_{max} = \left(\frac{W-U}{b_2} \right) \times \left[1 + \frac{6e}{b_2} \right]$ | 66,95 |
| Poids du mètre linéaire du déversoir | | |
| Poids du mètre linéaire du déversoir W (kN/ml) | $W = 12Hr^2 \tan \alpha + 24Hr$ | 628 |

| | | |
|---|--|-------|
| Stabilité face au poinçonnement | | |
| Contrainte admissible au sol de fondation (kPa) | $q_{adm} = 0,5 \times b_2 \times \gamma \times N_\gamma + C \times N_c + D \times \gamma \times N_q$ | 1 378 |
| Angle de cohésion C (KPa) | | 90 |
| Poids volumique du sol sous la fondation γ (kPa) | | 26,5 |
| Angle de frottement interne ϕ | | 20 |
| Profondeur d'ancrage du déversoir dans la fondation D (m) | | 1,5 |
| N_γ | | 4,6 |
| N_q | | 6,4 |
| N_c | | 14,8 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|--|--|--|
| Contrainte maximal soumise au sol (kPa) | $\sigma_{max} = \left(\frac{W-U}{b_2} \right) \times \left[1 + \frac{6e}{b_2} \right]$ | 66,95 |
| Condition de non poinçonnement | $\sigma_{max} < q_{adm}$ | 66,95 < 1 378 donc la condition est vérifiée |

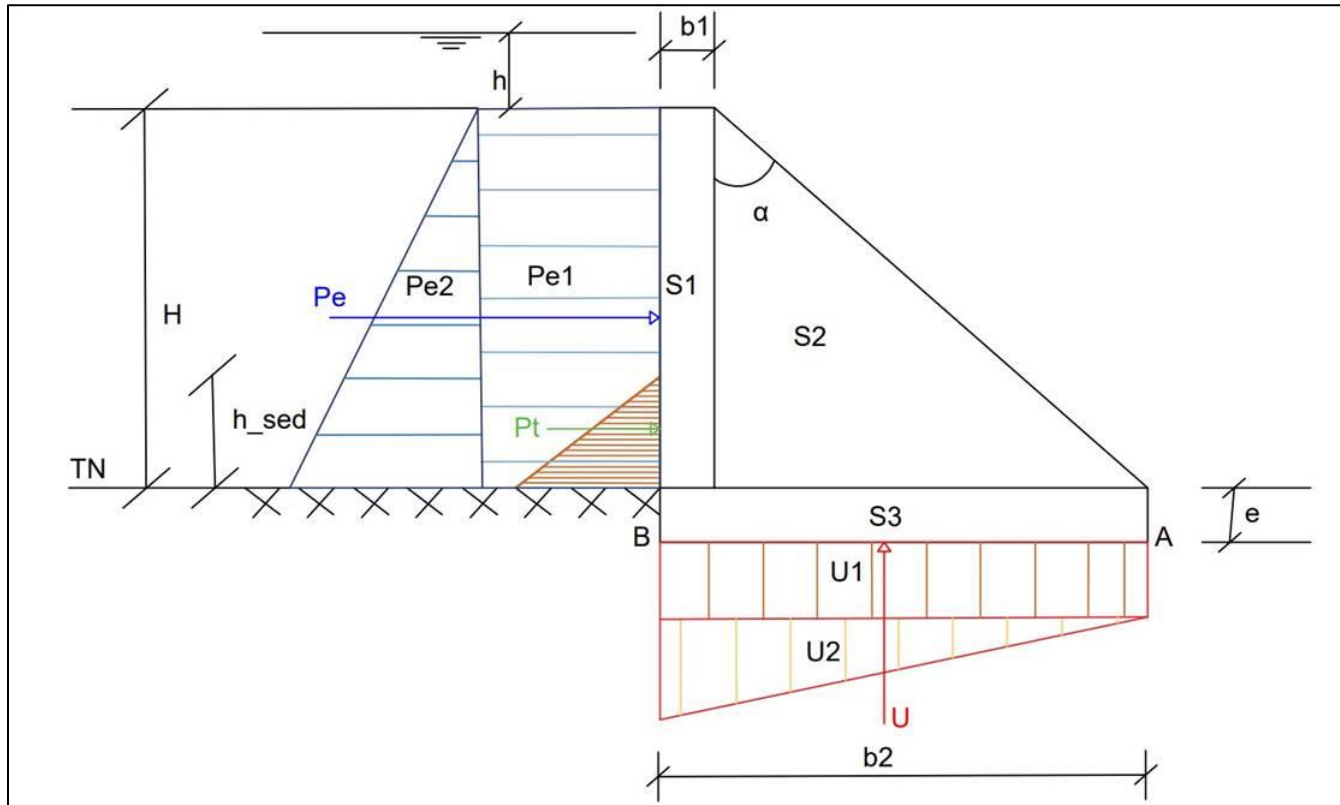


Figure 17: Bilan des forces agissants sur le déversoir

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

Dimensionnement du mur bajoyer

| Eléments de conception des murs bajoyers | | |
|--|--|---------|
| Désignations | | Valeurs |
| Poids volumique du béton γ_b (KN/m ³) | | 25 |
| Poids volumique de l'argile plastique γ_{ar} (KN/m ³) | | 18 |
| Cohésion de l'argile plastique (argile molle) | | 10 |
| Angle de frottement interne des grains (°) | | 17 |
| Coefficient de poussée active ka | | 0,33 |
| Contrainte admissible du sol qadm (kPa) | | 10 |

| Pré dimensionnement du mur | | |
|---------------------------------------|-------------|-----------|
| Désignations | Expressions | Résultats |
| Hauteur du remblai argileux H' (m) | | 7,00 |
| Hauteur d'ancrage Ha (m) | | 1,00 |
| Hauteur du mur bajoyer H (m) | Ha+H' | 8,00 |
| Epaisseur de la crête du voile e0 (m) | H/24 | 0,33 |
| Epaisseur de la base du voile e1 (m) | H/24 | 0,33 |
| Epaisseur de la semelle e2 (m) | H/12 | 0,67 |
| Largeur de la semelle b (m) | 0,2+0,45*H | 3,80 |
| Largeur du patin de la semelle b1 (m) | - | - |
| Largeur du talon de la semelle b2 (m) | b-b1-e1 | 3,47 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| Dimensionnement final | | |
|---------------------------------------|---------|--|
| Désignations | Valeurs | |
| Hauteur du remblai argileux H' (m) | 7,00 | |
| Hauteur d'ancrage Ha (m) | 1,00 | |
| Hauteur du mur bajoyer H (m) | 8,00 | |
| Epaisseur de la crête du voile e0 (m) | 0,25 | |
| Epaisseur de la base du voile e1 (m) | 0,70 | |
| Epaisseur de la semelle e2 (m) | 0,70 | |
| Largeur de la semelle b (m) | 4,90 | |
| Largeur du patin de la semelle b1 (m) | - | |
| Largeur du talon de la semelle b2 (m) | 4,20 | |

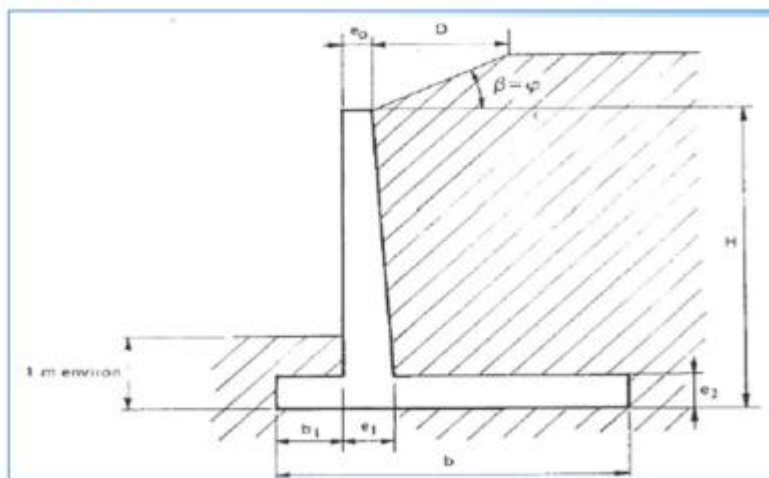


Figure 18: Illustration du mur de soutènement

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| Conception hydraulique du Chenal d'écoulement | | |
|--|--|----------------|
| Désignation | Formules | Valeurs |
| Largeur du canal L (m) | | 89 |
| Débit Q (m ³ /s) | $Q = K_s \times S \times R^{2/3} \times I^{1/2}$ | 199,67 |
| Coefficient de rugosité de Manning Strickler Ks | | 75 |
| Surface mouillée S (m ²) | $S = L \times Y_n$ | 62,30 |
| Rayon hydraulique R (m) | $R = \frac{S}{L + 2Y_n}$ | 0,69 |
| Pente du chenal I (m/m) | | 0,003 |
| Profondeur normale Yn (m) | | 0,70 |
| Profondeur critique Yc (m) | $Y_c = 0.47 \times \left(\frac{Q}{L}\right)^{2/3}$ | 0,68 |
| Revanche du chenal R (m) | $R = 0,6 + 0,05 (Qe/L * Y_n) * (Y_n^{1/3})$ | 0,71 |
| Hauteur du chenal H (m) | $H = R + Y_n$ | 1,41 |

| Calcul par la débitance de yn | | |
|--------------------------------------|-----------------|----------------|
| Désignation | Formules | Valeurs |
| | | |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|---|--|--------|
| Le débit évacué par le laminage Qe (m3/s) | | 155,66 |
| Coefficient de rugosité Ks | | 75,00 |
| Pente I (m/m) | | 0,00 |
| Largeur du canal L (m) | | 89,00 |
| Constante K | $K = \left(\frac{Q_e}{K_s * I^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} * \frac{1}{L}$ | 0,86 |
| Yn+1 | $Y_{n+1} = K_3(L + 2Y_n)^{2/3}$ | |
| | | |
| Yn | Yn+1 | |
| 0,10 | 17,20 | |
| 0,20 | 17,22 | |
| 0,30 | 17,25 | |
| 0,40 | 17,27 | |
| 0,50 | 17,30 | |
| 0,60 | 17,33 | |
| 0,70 | 17,35 | |

| Conception hydraulique du bassin de dissipation d'énergie | | |
|--|-----------------|----------------|
| Désignation | Formules | Valeurs |
| Bassin de dissipation | | |
| Longueur du déversoir ou largeur du coursier l (m) | | 89 |
| Lame déversant h (m) | | 0,80 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|---|--|--------|
| Pelle maximale du déversoir H_0 (m) | | 4,95 |
| Y_n/H_0 | | 0,14 |
| h/H_0 | | 0,16 |
| D/H_0 | | 0,29 |
| Enfoncement du bassin de dissipation calculé D (m) | $D = H_0 \times (D/H_0)$ | 1,44 |
| Enfoncement du bassin de dissipation retenu D (m) | | 1,50 |
| Débit évacué par mètre linéaire du déversoir (m ³ /s/ml) | $q = \frac{Q}{L}$ | 1,75 |
| Vitesse de l'eau au-dessus du seuil V_0 (m/s) | $V_0 = \frac{q}{h}$ | 2,19 |
| Ligne d'eau H (m) | $H = D + H_0$ | 6,45 |
| Accélération de la pesanteur g (m/s ²) | $Z = H_0 + H + \Delta H$ | 10,00 |
| Vitesse d'eau à l'entrée du bassin de dissipation V (m/s) | $V = \sqrt{2g \left[0.9 \left(H + h + \frac{V_0^2}{2g} \right) - Y_1 \right]}$ | 11,30 |
| Tirant d'eau à l'entrée du bassin de dissipation Y_1 (m) | $Y_1 = \frac{Q}{l \times V} = \frac{q}{V}$ | 0,15 |
| Débit maximum évacué Q (m ³ /s) | $Q = Y_1 \times l \times V$ | 155,66 |
| Nombre de froude F | $F = \frac{V}{\sqrt{gY_1}}$ | 9,08 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | |
|---|---|------|
| Tirant d'eau à la sortie du bassin de dissipation Y_2 (m) | $Y_2 = \frac{Y_1 \times [(8F^2 + 1)^{1/2} - 1]}{2}$ | 1,49 |
| L/Y_2 | | 2,85 |
| Longueur calculée du bassin de dissipation L (m) | $L/Y_2 * L$ | 4,24 |
| Longueur retenue du bassin de dissipation L (m) | | 4,50 |
| Blocs chicanes | | |
| Nombre de froude F | | 9,08 |
| y_1 (m) | | 0,15 |
| h_2/Y_1 | | 2,20 |
| V/H | | 1/1 |
| Hauteur h_2 (m) | | 0,34 |
| Largeur l_2 (m) | $l_2 = 0.75 \times h_2$ | 0,26 |
| Espacement e_2 (m) | $e_2 = 0.75 \times h_2$ | 0,26 |
| Epaisseur en crête (m) | $l_2 = 0.20 \times h_2$ | 0,07 |
| Blocs de chute | | |
| Nombre de froude F | | 9,08 |
| Hauteur h_1 (m) | $h_1 = y_1$ | 0,15 |
| Largeur à la base b_1 (m) | $b_1 = y_1$ | 0,15 |
| Espacement e_1 (m) | $e_1 = y_1$ | 0,15 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| Seuil terminal | | |
|--------------------------------|--|-------|
| Nombre de froude F | | 9,08 |
| y ₁ (m) | | 0,15 |
| h ₄ /Y ₁ | | 1,50 |
| Pente | | 2H/1V |
| Hauteur h ₄ (m) | | 0,23 |

| Calcul par itération de V | | |
|---|--|---------|
| Désignation | Formules | Valeurs |
| Vitesse d'eau à l'entrée du bassin de dissipation V (m/s) | $V = \sqrt{2g \left[0,9 \left(H + h + \frac{V_0^2}{2g} \right) - Y_1 \right]}$ | |
| | $V_{n+1} = (K - (2g \cdot q / V_n))^{0,5}$ | |
| Constante K | $K = 2g \cdot 0,9 \cdot (H + h) + (V_0^2 / 2g)$ | 130,74 |
| V _n | V _{n+1} | |
| 1 | 9,79 | |
| 9,79 | 11,28 | |
| 11,28 | 11,30 | |
| 11,30 | 11,30 | |
| 11,30 | 11,30 | |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

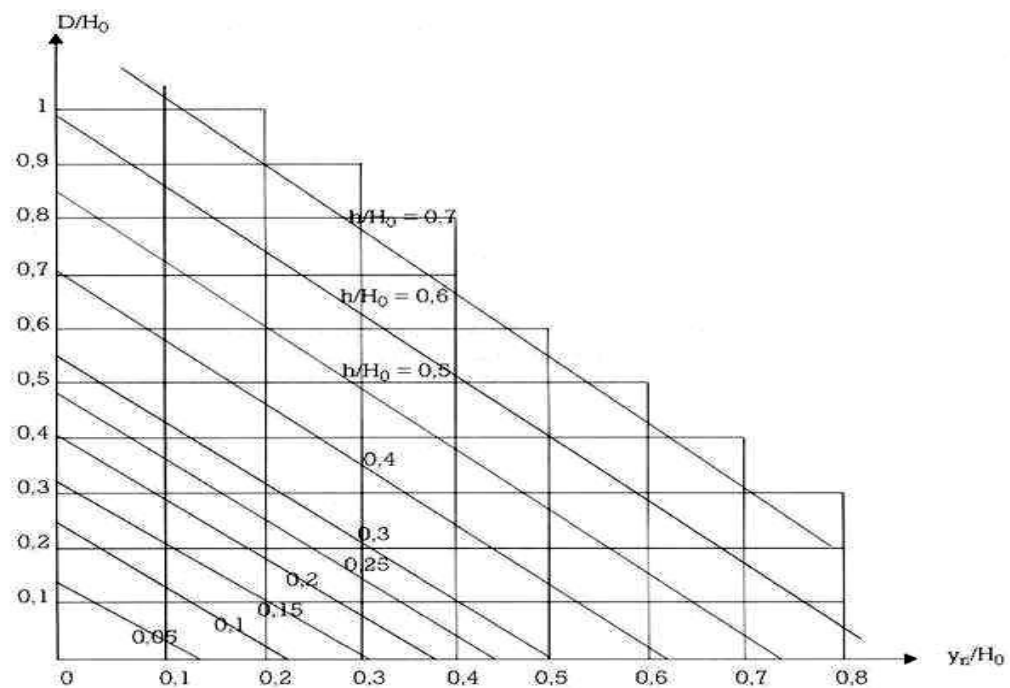


Figure 19: Abaque de détermination de l'enfoncement D du bassin de dissipation

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zougou, dans la commune de Zougou au Burkina Faso

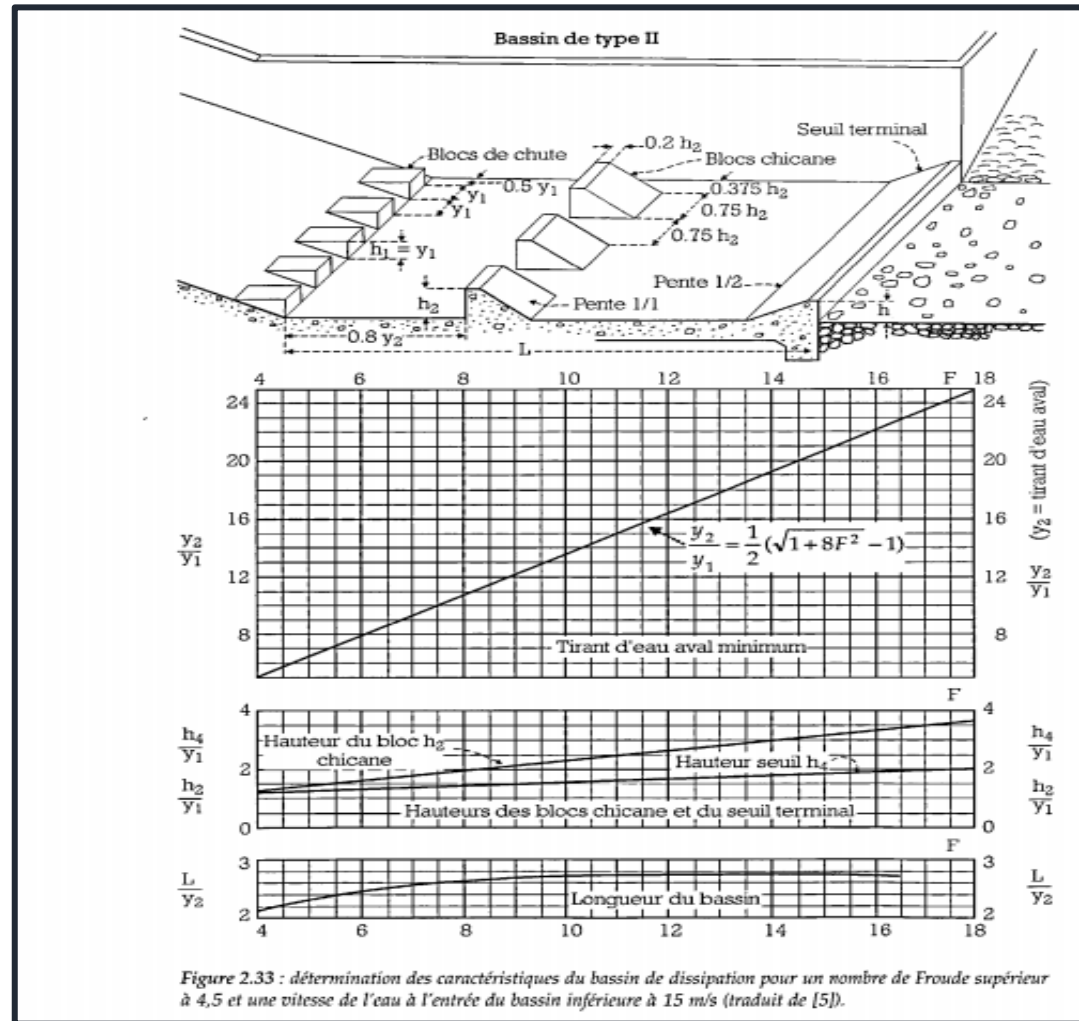


Figure 20: Calcul des bassins de type USBR II

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

Annexe 4 : Devis quantitatif et estimatif

| N° | DESIGNATION DES TRAVAUX | Unité | Prix unitaire FCFA HTVA | Quantité | Montant FCFA HTVA |
|------|---|-------|-------------------------|-----------|----------------------|
| I | Installation et repli du matériel de chantier | | | | |
| 1.1 | Installation générale du chantier et Amenée du Matériel | FF | 25 000 000,00 | 1 ,00 | 25 000 000,00 |
| 1.2 | Repli du matériel et des installations | FF | 7 500 000,00 | 1 ,00 | 7 500 000,00 |
| 1.3 | Installation et fonctionnement du Laboratoire de chantier | FF | 8 500 000,00 | 1 ,00 | 8 500 000,00 |
| 1.4 | Bureau de chantier équipé de divers mobiliers | FF | 6 000 000,00 | 1 ,00 | 6 000 000,00 |
| | Sous- total I | | | | 47 000 000,00 |
| II | Tranchée d'ancrage et fondation | | | | |
| 2.1 | Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage | m3 | 3 500,00 | 10 721,81 | 37 526 344,00 |
| 2.2 | Remblai aux engins pour tranchée d'ancrage | m3 | 4 500,00 | 10 721,81 | 48 248 156,00 |
| | Sous-Total II | | | | 85 774 500,00 |
| III | Digue | | | | |
| 3.1 | Déblai talute au profil de reprise de remblai digue | m3 | 6 000,00 | | - |
| 3.2 | Déblai total de portion de digue | m3 | 6 000,00 | | - |
| 3.3 | Débroussaillage-décapage(min 30 cm) | m2 | 300,00 | 18 897,35 | 5 669 206,00 |
| 3.4 | Remblai argileux compacté aux engins pour digue | m3 | 5 500,00 | 57 192,62 | 314 559 424,00 |
| 3.5 | Déblai aux engins pour drain | m3 | 5 000,00 | 549,00 | 2 745 000,00 |
| 3.6 | Déblai aux engins pour butée | m3 | 5 000,00 | 1 464,00 | 7 320 000,00 |
| 3.7 | Couche de pose latéritique du perre talus amont (e=30cm) | m3 | 4 000,00 | 2 450,55 | 9 802 182,00 |
| 3.8 | Géotextile sous enrochement amont | m2 | 2 550,00 | 10 954,48 | 27 933 936,00 |
| 3.9 | Perré sec Amont (épaisseur = 30cm) | m2 | 8 000,00 | 8 168,48 | 65 347 879,00 |
| 3.10 | Sable pour filtres vertical et horizontal | m3 | 9 000,00 | 3 943,78 | 35 494 042,00 |
| 3.11 | filtres de transition vers drain de pied aval (ép=30 cm) | m3 | 7 000,00 | 581,40 | 4 069 800,00 |
| 3.12 | Perré sec Aval (épaisseur = 25cm) | m2 | 8 000,00 | 8 168,48 | 65 347 879,00 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | | | |
|------|---|----|------------|----------|-----------------------|
| 3.13 | Déblai à la main à travers remblai (muret de crête) | m3 | 5 000,00 | 305,00 | 1 525 000,00 |
| 3.14 | Déblai à la main à travers remblai (parapet) | m3 | 5 000,00 | 962,25 | 4 811 250,00 |
| 3.15 | Maconnerie de moellons pour muret de crête | m3 | 60 000,00 | 305,00 | 18 300 000,00 |
| 3.16 | Maconnerie de moellons pour Parapet | m3 | 60 000,00 | 704,50 | 42 270 000,00 |
| 3.17 | Enrochement à la main pour butée | m3 | 15 000,00 | 1 464,00 | 21 960 000,00 |
| 3.18 | Enrochement à la main pour drain | m3 | 15 000,00 | 549,00 | 8 235 000,00 |
| 3.19 | Couche de couronnement crête | m3 | 5 000,00 | 732,00 | 3 660 000,00 |
| 3.20 | Déblai pour cunette de décharge | m3 | 5 000,00 | 468,48 | 2 342 400,00 |
| 3.21 | Perré maçonné cunette de décharge | m3 | 10 000,00 | 234,24 | 2 342 400,00 |
| | Sous-total III | | | | 643 735 398,00 |
| IV | Evacuateurs de crue | | | | |
| 4.1 | Remblai de stabilisation et de purges dans la zone centrale | m3 | 5 000,00 | | - |
| 4.2 | Déblai aux engins pour déversoir et bassin de dissipation | m3 | 5 000,00 | | - |
| 4.3 | Déblai à la main (fouille des ouvrages) | m3 | 5 000,00 | 681,27 | 3 406 360,00 |
| 4.4 | Béton cyclopéen à 300 kg/m3 | m3 | 120 000,00 | 964,50 | 115 740 000,00 |
| 4.5 | Béton armé à 350 kg/m3 pour écran anti-renard | m3 | 145 000,00 | | - |
| 4.6 | Béton de propreté à 150 kg/m3 | m3 | 60 000,00 | 29,33 | 1 759 632,00 |
| 4.7 | Béton armé à 350 kg/m3 pour murs bajoyers | m3 | 215 000,00 | 471,78 | 101 432 249,00 |
| 4.8 | Béton ordinaire à 250 kg/m3 pour bassin de dissipation | m3 | 130 000,00 | 131,94 | 17 152 366,00 |
| 4.9 | Joints waterstop | ml | 45 000,00 | 154,00 | 6 930 000,00 |
| 4.10 | Joints bitumineux | ml | 5 000,00 | | - |
| 4.11 | Enrochements | m3 | 15 000,00 | 108,00 | 1 620 000,00 |
| 4.12 | Gabions de blocage | m3 | 35 000,00 | 240,00 | 8 400 000,00 |
| 4.13 | Tapis filtrant en sable sous bassin et enrochement | m3 | 18 500,00 | | - |
| 4.14 | Tubes PVC pour barbacanes DN 50 | ml | 5 000,00 | 28,70 | 143 500,00 |
| 4.15 | Tapis filtrant en sable sous diguette de protection | m3 | 18 500,00 | | - |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | | | |
|-------|--|----|--------------|--------|-----------------------|
| 4.16 | Remblai compacté pour diguette de protection | m3 | 5 000,00 | 483,00 | 2 415 000,00 |
| 4.17 | Déblai à la main pour butée amont du perré maçonné | m3 | 5 000,00 | 40,00 | 200 000,00 |
| 4.18 | Perré maçonné pour diguettes de protection | m2 | 17 500,00 | 151,43 | 2 650 080,00 |
| 4.19 | Butée de pied perré maçonné pour diguettes de protection | m3 | 60 000,00 | 25 ,20 | 1 512 000,00 |
| 4.10 | Echelle limnimétrique cuvette | ml | 40 000,00 | 20,00 | 800 000,00 |
| 4.10 | Démolition béton ancien seuil | m3 | 60 000,00 | 624,00 | 37 440 000,00 |
| | Sous-Total IV | | | | 301 601 187,00 |
| V | Ouvrages de prise rive gauche | | | | |
| 5.1 | Déblai à la main pour bacs | m3 | 5 000,00 | 93,58 | 467 910,00 |
| 5.2 | Déblai à la main pour conduite | m3 | 6 000,00 | 128,25 | 769 500,00 |
| 5.3 | Conduite en fonte de 500 mm de diamètre | ml | 150 000,00 | 8,00 | 1 200 000,00 |
| 5.4 | Béton de propreté conduite | m3 | 50 000,00 | 1,58 | 79 200,00 |
| 5.5 | Béton de propreté bacs | m3 | 50 000,00 | 17,10 | 855 000,00 |
| 5.6 | Vanne papillon Diamètre 500 et accessoires | u | 5 500 000,00 | - | - |
| 5.7 | Crépine Diamètre 550 (locale) | u | 100 000,00 | 1,00 | 100 000,00 |
| 5.3.1 | Conduite en fonte de 600 mm de diamètre | ml | 250 000,00 | 55,00 | 13 750 000,00 |
| 5.6.1 | Vanne papillon Diamètre 600 et accessoires | u | 8 500 000,00 | 1,00 | 8 500 000,00 |
| 5.7.1 | Crépine Diamètre 650 (locale) | u | 100 000,00 | 1,00 | 100 000,00 |
| 5.8 | Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour enrobage conduite | m3 | 140 000,00 | 94,02 | 13 162 494,00 |
| 5.9 | Béton armé coulé en élévation pour bacs | m3 | 145 000,00 | 11,17 | 1 618 954,00 |
| 5.10 | Béton armé coulé à plat pour bacs | m3 | 140 000,00 | 3,17 | 443 520,00 |
| 5.11 | Béton armé en rélevation écrans | m3 | 145 000,00 | - | - |
| 5.12 | Perré maçonné pour bac amont et aval | m3 | 25 000,00 | 9,37 | 234 200,00 |
| 5.13 | Enrochement pour bac amont et aval | m3 | 15 000,00 | 3,86 | 57 915,00 |
| 5.14 | Maçonnerie de moellons escaliers | m3 | 80 000,00 | 26,63 | 2 130 000,00 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

| | | | | | |
|------|---|----|---------------|-------|----------------------|
| 5.15 | Echelle de descente dans les bacs de fabrication locale en amont | u | 150 000,00 | 1,00 | 150 000,00 |
| 5.16 | Echelle de descente dans les bacs de fabrication locale en aval | u | 150 000,00 | 1,00 | 150 000,00 |
| 5.17 | Caillebotis posé sur cornière pour bacs amont et aval (grille) | m2 | 75 000,00 | 28,80 | 2 160 000,00 |
| 5.18 | Echelle limnimétrique (niveau d'eau au dessus de la prise) | ml | 40 000,00 | 20,00 | 800 000,00 |
| | Sous-Total V | | | | 46 728 693,00 |
| VI | Coûts de mise en œuvre des mesures environnementales | | | | |
| 6.1 | Balise pour bande de servitude (espacement 100m) | km | 750 000,00 | 12,80 | 9 600 000,00 |
| 6.2 | Couts des mesures de compensation des pertes végétales et reboisement | u | 5 500 000,00 | 1,00 | 5 500 000,00 |
| 6.3 | Couts des mesures d'information et de sensibilisation des populations et d'atténuation des risques de contamination du VIH et d'accident (noyade) | u | 15 000 000,00 | 1,00 | 15 000 000,00 |
| 6.4 | Couts des mesures de désenclavement | u | pm | 1,00 | |
| 6.5 | Cout des mesures de développement socioéconomiques dans la zone du projet et d'appui à la production agro sylvo pastorale | u | pm | 1,00 | |
| 6.6 | Couts des mesures de renforcement des capacités | u | 10 000 000,00 | 1,00 | 10 000 000,00 |
| 6.7 | Couts des mesures de surveillance, de suivi et évaluation | u | 16 000 000,00 | 1,00 | 16 000 000,00 |
| | Sous-Total VI | | | | 56 100 000,00 |
| | TOTAL en Hors Taxes | | | | 1 180 939 778,00 |
| | T.V.A. | | | | 212 569 160,04 |
| | TOTAL T.T.C. | | | | 1 393 508 938,04 |

Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

Annexe 5 : Pièces graphiques

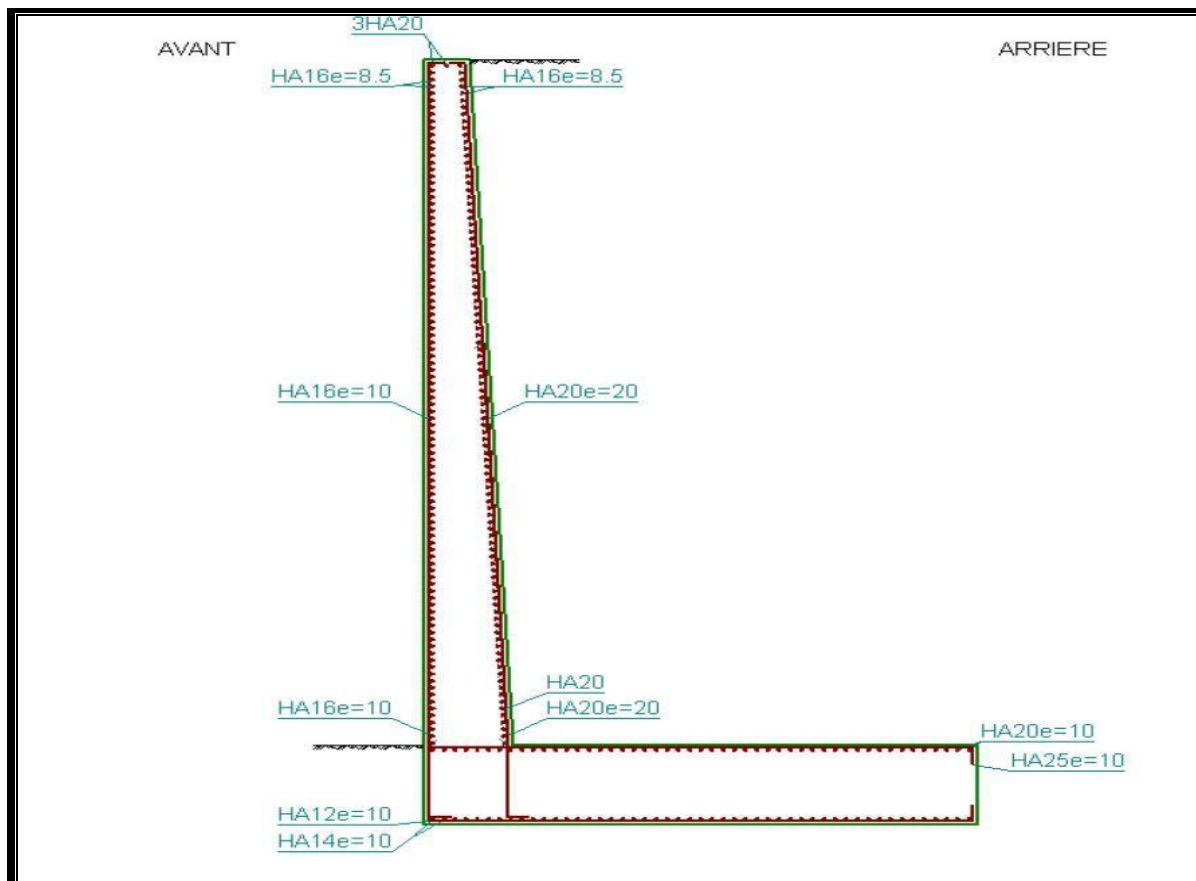
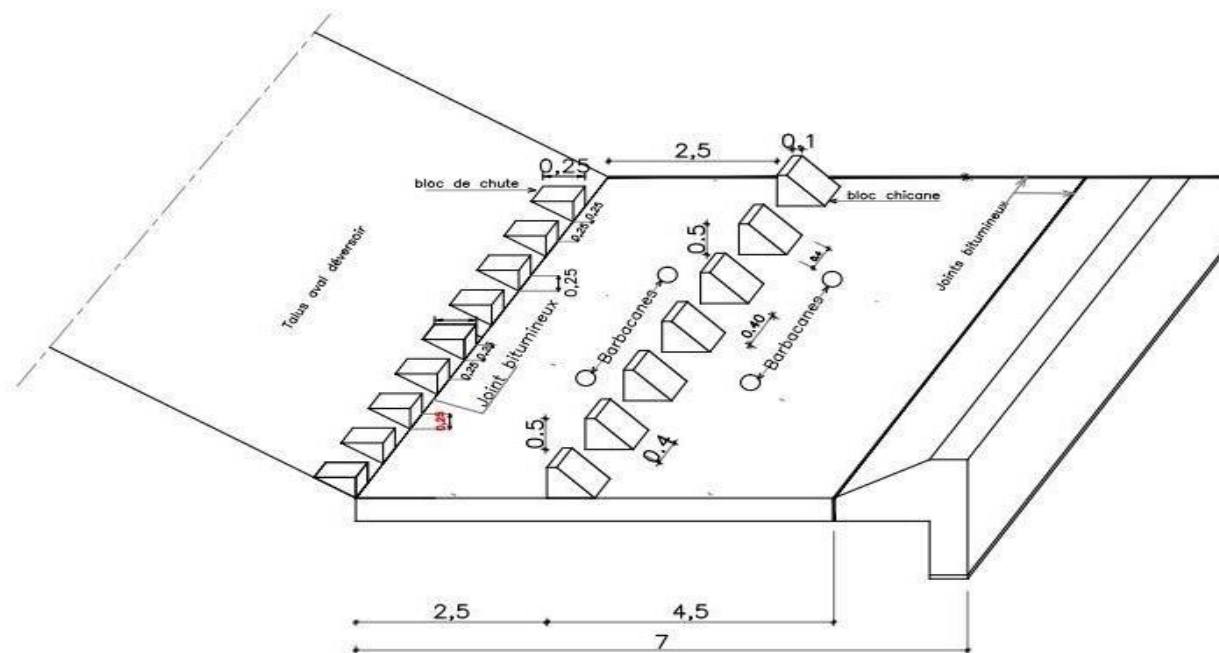


Figure 21: Plan de ferrailage du bajoyer

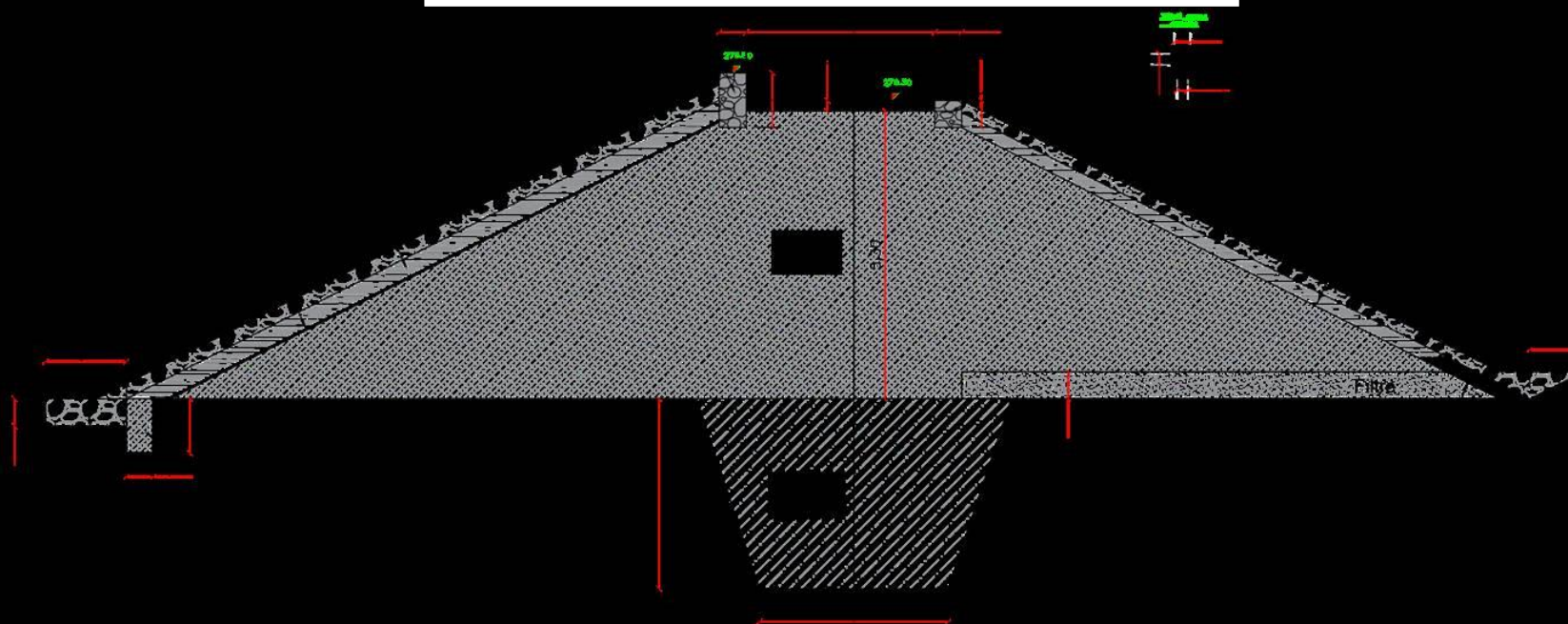
Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso



Mémoire de fin
d'étude

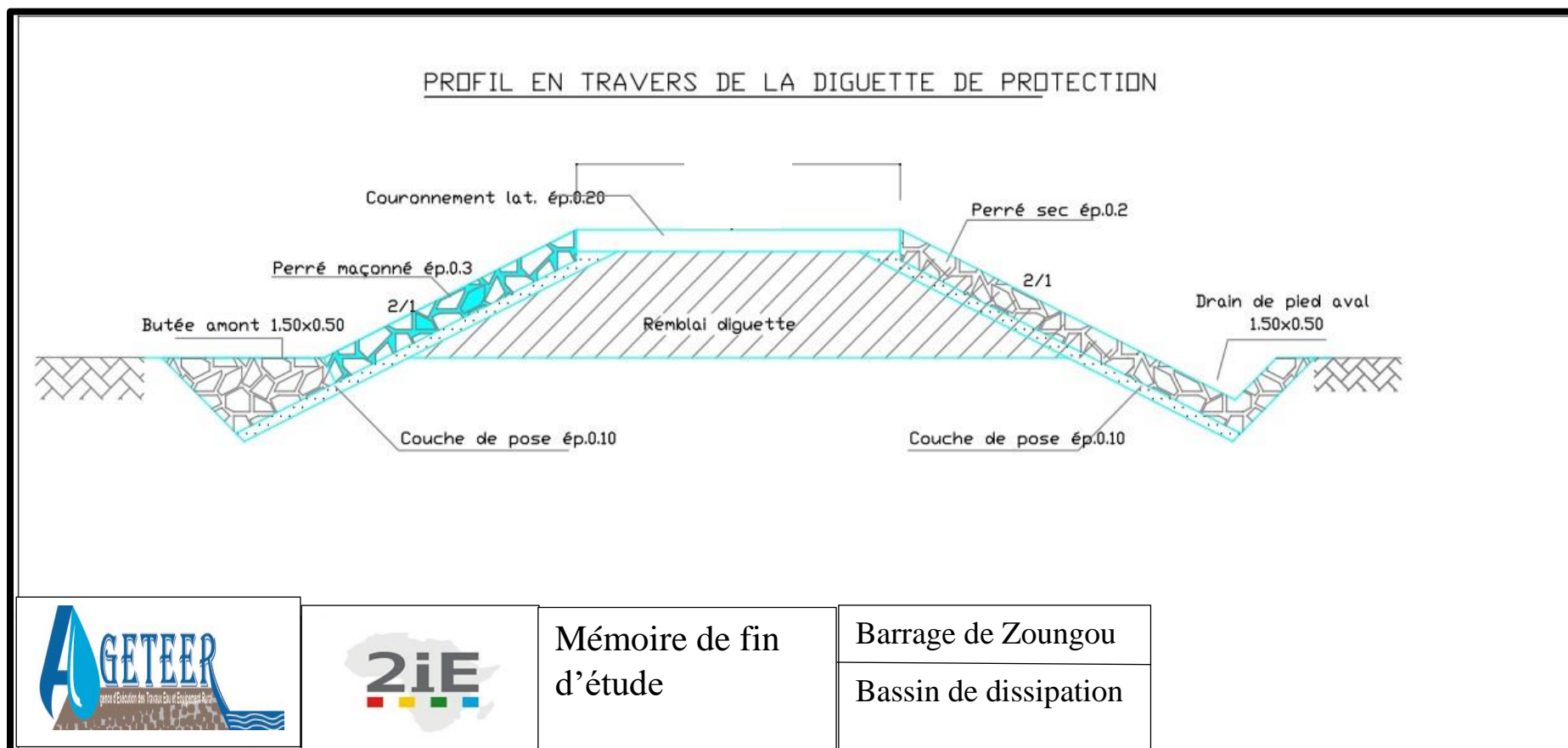
Barrage de Zoungou
Bassin de dissipation

Profil en travers de la digue avec filtre

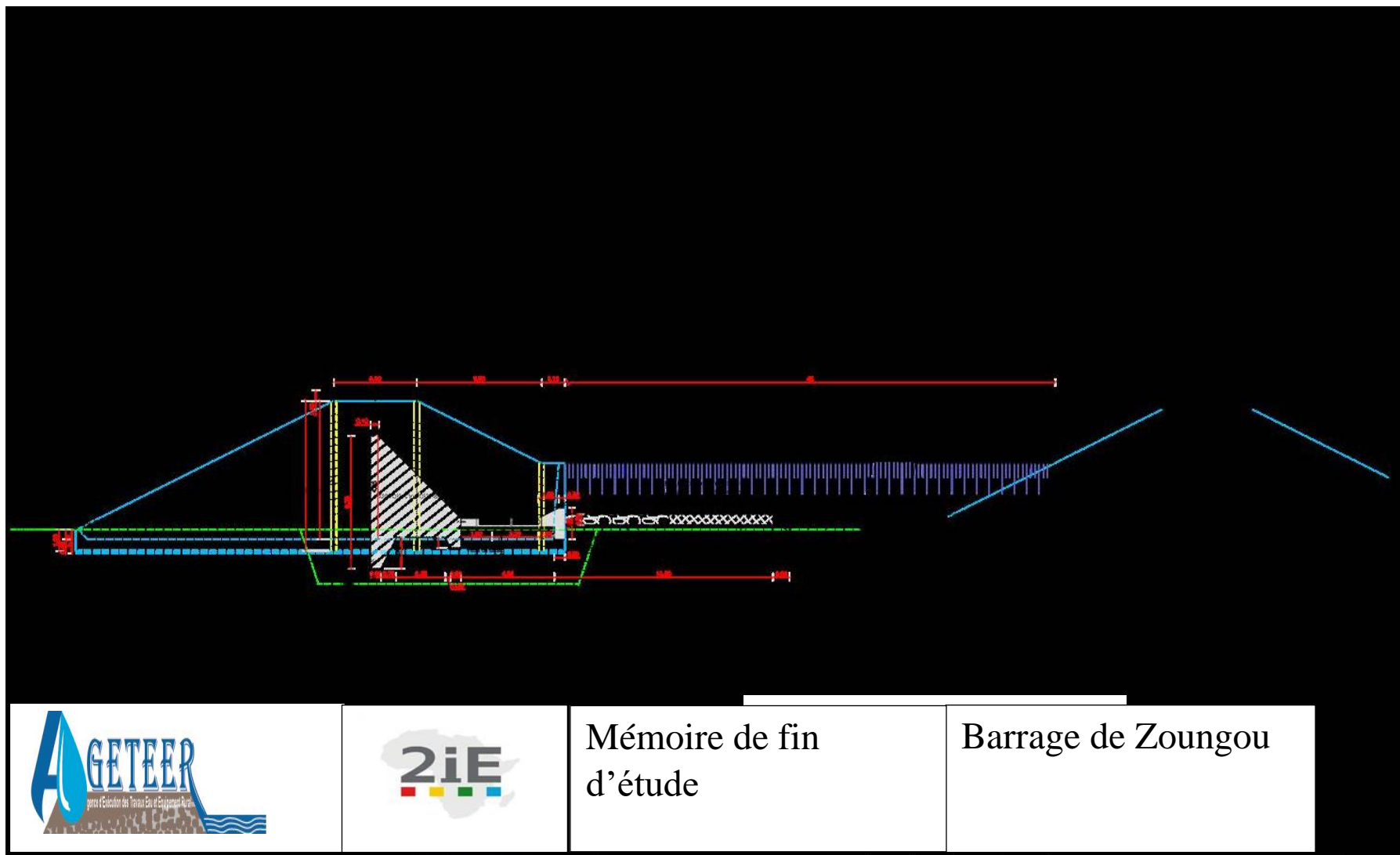


Mémoire de fin
d'étude

Profil en travers de la diguette de protection



Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso



Etudes d'Avant-projet détaillé de la réhabilitation du barrage de Zoungou, dans la commune de Zoungou au Burkina Faso

