



**ACTUALISATION DES ETUDES TECHNIQUES DU BARRAGE DE LINDI DANS
LA COMMUNE RURALE D'OURGOU-MANEGA, REGION DU PLATEAU
CENTRAL**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : « INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES »

Présenté et soutenu publiquement le 04 juillet 2017 par **Aboubacar NAON**

Travaux dirigés par :

- M. **Moussa LO**, Enseignant (Département GCH/Fondation 2iE),
- M. **Pascal BAYALA**, Ingénieur du Génie Rural (PDRI-PC)

Jury d'évaluation du stage :

Président du jury : Dr. **Amadou KEITA**

Membres du jury : Dr. **Abdoul LAWANE**
Dr. **Dial NIANG**
M. **Moussa LO**

Promotion [2016/2017]

CITATIONS

GOUBET (1979) : “... ce résultat (les progrès sensibles constatés depuis une cinquantaine d’années dans les grands barrages) n’a été atteint que grâce aux grandes précautions prises à tous les stades : conception, réalisation et exploitation... il convient donc de poursuivre les effets et de ne pas relâcher l’attention...”

DEDICACE

A tous les acteurs et à toutes les actrices du monde rural.

REMERCIEMENTS

J'exprime ma profonde reconnaissance à monsieur **David. D. Dimitri KAM**, coordonnateur du Projet de Développement Rural Intégré du Plateau Central pour son accueil et les moyens mis à ma disposition pour parvenir à ce résultat. Aussi, suis-je reconnaissant envers l'ensemble du personnel dudit projet pour l'ambiance chaleureuse qui m'a été accordée au cours de mon bref séjour parmi eux.

Je remercie mon directeur de mémoire, **Moussa LO**, enseignant à la fondation 2iE d'avoir accepté m'encadrer pour la réalisation de ce précieux travail. Ses conseils, m'ont été d'un apport sans équivalent.

Je tiens aussi à remercier mon co- encadreur monsieur **Pascal BAYALA**, qui malgré ses multiples occupations, n'a ménagé aucun effort pour me soutenir dans l'élaboration de ce précieux travail. Sa relecture du document et ses remarques m'ont été très bénéfiques.

J'adresse un remerciement particulier à tous les enseignants et à toutes les enseignantes de la fondation 2iE qui se soucient chaque jour de notre formation.

Enfin, toute ma gratitude à mes parents, mon épouse, mon fils, mes collègues de services et mes amis qui ont été à mes côtés tous jours durant ces périodes de durs labeurs.

RESUME

Le présent mémoire traite des résultats de l'étude d'actualisation de la conception d'un barrage à vocation hydro-agricole et pastorale au bénéfice des populations des villages de Lindi, Samissi et Namassa de la région du Plateau Central au Burkina Faso.

Le bassin versant du barrage a une superficie actualisée de 162,69 km² contre 156,84 km² de superficie initiale. En année normale, il se caractérise par 3 607 320 m³ d'apports liquides contre 3 450 480 m³ d'apports initiaux.

L'actualisation a retenu la digue en terre homogène contre la digue à zone prévue initialement. Elle a une longueur actualisée de 1 610 mètres contre une valeur initiale de 1 200 mètres. Sa hauteur actualisée est de 5 mètres contre 4 mètres de hauteur initiale. La cuvette a un volume actualisé de 1 440 570 m³ au plan d'eau normal contre 1 243 170 m³ de volume initial.

Le déversoir en radier submersible est le type retenu par l'actualisation contre celui en voile prévu initialement. Il a une longueur actualisée de 250 mètres contre 90 mètres de longueur initiale. Il permet d'évacuer une crue centennale actualisée de 230 m³/s.

Un ouvrage de prise permettra d'irriguer 25 hectares qui seront aménagés en aval. Il a un diamètre nominal actualisé de 400 millimètres contre 200 millimètres de diamètre initial.

La ressource en eau disponible permettra de satisfaire les besoins en eau d'irrigation de l'oignon pendant la campagne sèche qui s'élèvent à 261 250 m³.

L'ouvrage proposé a un coût global actualisé de 779 743 817 FCFA TTC et le montant initial du marché étant de 792 544 326 FCFA TTC.

Mots clés :

- 1 - Barrage en terre homogène
- 2 - Oignon
- 3 - Déversoir
- 4 - Irrigation
- 5 – Ourgou-Manéga

ABSTRACT

The present report deal with the results of a dam with hydro-agricultural and pastoral vocation to the benefit of populations of the villages of Lindi, Samissi and Namassa in the Central Plate area of Burkina Faso.

The basin has a brought up to date surface of 162.69 km² compared with 156.84 km² of initial surface. In normal year, it is characterized by 3,607,320 m³ of liquid contributions against 3,450,480 m³ of initial contributions.

Actualization retained the homogeneous earth embankment against the dam at zone envisaged initially. It has a brought up to date length of 1,610 meters against an initial value of 1,200 meters. Its brought up to date height is of 5 meters compared with 4 meters initial height. The basin has an updated volume of 1 440,570 m³ to the normal lake against 1 243,170 m³ of initial volume.

The outfall in erasing sinkable is the type retained by actualization against that out of veil envisaged initially. It has a brought up to date length of 250 meters compared with 90 meters initial length. It makes it possible to evacuate a brought up to date centennial rising of 230 m³/s. A work of catch will make it possible to irrigate 25 hectares which will be arranged downstream. It has a brought up to date nominal diameter of 400 millimetres compared with 200 millimetres in initial diameter.

The water resources available will make it possible to satisfy the water requirements of irrigation with onion during the dry countryside which rise with 261 250m³. The work suggested has updated overall costs of 779,743,817 FCFA including all taxes and the initial amount of the market being of 792 544,326 FCFA including all taxes.

Key words:

- 1 - Homogeneous earth dam
- 2 – Onion
- 3 – Flood sluide
- 4 - Irrigation
- 5 – Ourgou – Manega

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

APD : Avant-Projet Détaillé

AGETEER : Agence d'Exécution des Travaux Eau et Equipement Rural

AGR : Activités Génératrices de Revenus

ASEER : Association Européenne d'Etudes d'Equipement Ruraux

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites

CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

ELS : Etat Limite de Service

ELU : Etat Limite Ultime

FAO : Food and Agriculture Organization of United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

IGB : Institut Géographique du Burkina

IRH : Infrastructures et Réseaux Hydrauliques

NIE : Notice d'Impact Environnemental

ORSTOM : Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

PCD : Plan Communal de Développement

PDRI/PC : Projet de Développement Rural Intégré du Plateau Central

PEN : Plan d'Eau Normal

PHE : Plus Hautes Eaux

PTAC : Poids Total à Charge

RGPH : Recensement Général de la Population Humaine

TN : Terrain Naturel

UBT : Unité de Bétail Tropical

TABLE DES MATIERES

Table des matières

CITATIONS	ii
DEDICACE	iii
RESUME	v
ABSTRACT	vi
LISTE DES ABREVIATIONS	vii
LISTE DES TABLEAUX	xi
FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE LINDI	I
I. INTRODUCTION GENERALE	II
1.1. Introduction.....	II
1.2. Problématique.....	II
1.3. Objectifs.....	III
II. SYNTHESE DES ETUDES DE BASE	IV
2.1 Études socio-économiques.....	IV
2.1.1. Effectif de la population.....	IV
2.1.2. Agriculture.....	IV
2.1.3. Élevage.....	V
2.1.4. Adhésion des populations au projet.....	V
2.2 Études environnementales.....	VI
2.3 Études pédologiques.....	VI
2.4 Études géotechniques.....	VI
2.4.1. Investigations sur la fondation du barrage.....	VI
2.4.2. Investigation sur les zones d'emprunt.....	VII
III. SYNTHESE DES ETUDES CONCEPTION DE L'APD	IX
3.1. Résultats de conception du barrage de l'APD.....	IX
3.1.1. Etudes hydrologiques de l'APD.....	IX
3.1.2. Etude de la digue.....	XI
3.1.3. Evacuateur de crue et ouvrages annexes.....	XII
3.2. Synthèse des insuffisances techniques de l'APD.....	XII
3.2.1. Études géotechniques.....	XII
3.2.2. Études hydrologiques.....	XII

3.2.3.	Études de la digue.....	XIII
IV.	MATERIEL ET METHODES.....	XIV
4.1.	Présentation de la zone d'étude.....	XIV
4.2.	Méthodologie de collecte des données.....	XVI
4.2.1.	Rencontre préliminaire.....	XVI
4.2.2.	Revue documentaire.....	XVI
4.2.3.	Collecte opérationnelle des données.....	XVI
4.2.4.	Travaux de bureau.....	XVI
4.3.	Méthodologie de conception.....	XVII
4.3.1.	Enquête terrain.....	XVII
4.3.2.	Etudes hydrologiques.....	XVII
4.3.3.	Etude de la retenue.....	XVIII
4.3.4.	Dimensionnement de la digue.....	XX
a.	Justification du choix du type de barrage.....	XX
b.	Détermination de l'axe et des dimensions de la digue.....	XX
c.	Protection.....	XXI
4.3.5.	Evacuateur de crue et ouvrages annexes.....	XXII
a.	Evacuateur de crue.....	XXII
b.	Bassin de dissipation et ouvrage de prise.....	XXII
V.	RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	XXIV
5.1.	Enquêtes socio-économiques.....	XXIV
5.2.	Etudes hydrologiques actualisées.....	XXV
5.2.1.	Etudes pluviométriques.....	XXV
5.2.2.	Etudes du bassin versant.....	XXVI
5.2.3.	Résultats comparatifs des études hydrologiques.....	XXVII
5.2.4.	Analyse et discussion des résultats de la comparaison des études hydrologiques XXVIII	
5.2.5.	Prédétermination de la crue de projet.....	XXIX
5.3.	Etudes actualisées de la cuvette.....	XXX
5.3.1.	Evaluation des besoins en eau.....	XXX
5.3.2.	Evaluation des pertes.....	XXX
5.3.3.	Etudes des apports.....	XXXI
5.3.4.	Volume de la cuvette.....	XXXI
5.3.5.	Résultats comparatifs des études de la cuvette.....	XXXIII
5.3.6.	Analyse et discussion des résultats de la comparaison des études de la cuvette.....	XXXIV
5.4.	Dimensionnement actualisé de la digue.....	XXXIV

5.4.1.	Caractéristiques géométriques de la digue.....	XXXIV
5.4.2.	Simulation de l'utilisation de la retenue	XXXVII
5.4.3.	Résultats comparatifs du dimensionnement de la digue	XXXVIII
5.4.4.	Analyse et discussion des résultats de comparaison de dimensionnement de la digue	XXXIX
5.5.	Dimensionnement actualisé de l'évacuateur de crue et ouvrages annexes.....	XLI
5.5.1.	Evacuateur de crue.....	XLI
5.5.2.	Bassin de dissipation.....	XLV
5.5.3.	Ouvrage de prise et de vidange	XLVI
5.5.4.	Résultats comparatifs des caractéristiques du déversoir et des ouvrages annexes	XLVII
5.5.5.	Analyse et discussion des résultats de comparaison de dimensionnement l'évacuateur de crue et des ouvrages annexes.....	XLVIII
5.6.	Etudes économiques actualisées	L
5.6.1.	Devis estimatif.....	L
5.6.2.	Charges d'exploitation	LI
5.6.3.	Productions	LI
5.6.4.	Bilan	LI
VI.	CONCLUSION	LII
VII.	RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	LIV
VIII.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	LV
IX.	ANNEXES	LVII

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Situation de la production agricole de la campagne hivernale 2012	V
Tableau 2 : Effectif du cheptel par espèce.....	V
Tableau 3 : Résultats des essais sur échantillon d'argile	VII
Tableau 4 : Résultat des essais de sédimentométrie.....	VII
Tableau 5 : Résultat des essais sur la grave argilo-latéritique.....	VII
Tableau 6 : Résultats des essais sur sable.....	VII
Tableau 7 : Caractéristiques physiques du bassin versant de l'APD	IX
Tableau 8 : Valeurs caractéristiques de la pluviométrie de l'APD	IX
Tableau 9 : Valeurs caractéristiques des apports liquides de l'APD.....	X
Tableau 10 : Valeurs caractéristiques des dépôts solides de l'APD	X
Tableau 11 : Résultats de conception de la digue de l'APD	XI
Tableau 12 : Résultats de conception du déversoir de l'APD.....	XII
Tableau 13 : Estimation de l'échantillon d'enquête	XXIV
Tableau 14 : Population animale desservie	XXV
Tableau 15 : Résultat de l'analyse des pluies de la station synoptique d'Ouagadougou.....	XXV
Tableau 16 : Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant	XXVI
Tableau 17: Comparaison des résultats des études hydrologiques.....	XXVIII
Tableau 18: Résultats des données hydrologiques actualisées.....	XXIX
Tableau 19: Critères de choix des périodes de retour des crues de projet.....	XXIX
Tableau 20 : Estimation des apports liquides	XXXI
Tableau 21 : Estimation du volume de la retenue	XXXII
Tableau 22: Comparaison des résultats des études de la cuvette	XXXIII
Tableau 23: Résultats de l'étude de la cuvette actualisée	XXXIV
Tableau 24: Comparaison des résultats de dimensionnement de la digue	XXXVIII
Tableau 25: Résultats du dimensionnement de la digue actualisé.....	XLI
Tableau 26 : Caractéristiques géométriques de déversoir poids.....	XLII
Tableau 27 : Résultats d'étude de la stabilité du déversoir poids.....	XLIII
Tableau 28 : Caractéristiques géométriques des bajoyers	XLIII
Tableau 29 : Etude de la stabilité du bajoyer	XLIV
Tableau 30 : Caractéristiques géométriques du bassin de dissipation.....	XLV
Tableau 31: Comparaison des caractéristiques du déversoir et des ouvrages annexes	XLVIII
Tableau 32 : Variation du débit en fonction de la charge.....	XLIX
Tableau 33: Résultats des caractéristiques du déversoir et des ouvrages annexes actualisés.....	L
Tableau 34 : Devis estimatif des trois types de déversoirs.....	L
Tableau 35 : Estimation des charges d'exploitation	LI
Tableau 36 : Estimation des productions.....	LI
Tableau 37 : Bilan	LI
Tableau 38: Synthèse des impacts du projet.....	IV
Tableau 39: Données météorologiques de station synoptique de Ouagadougou.	VI
Tableau 40: Résultats d'ajustement des pluies annuelles de Ouagadougou à la loi de GAUSS.....	VII
Tableau 41: Résultat d'ajustement des pluies journalières de Ouagadougou à la de GUMBEL	IX
Tableau 42: Détermination des paramètres hydrologiques	XII
Tableau 43: Estimation des besoins de l'oignon	XV
Tableau 44 : Estimation des besoins pastoraux	XVI
Tableau 45: Estimation de l'évaporation mensuelle du plan d'eau du barrage de Lindi.....	XVI
Tableau 46: Estimation des pertes d'eau par infiltration dans la cuvette du barrage de Lindi.....	XVII

Tableau 47 : Estimation des dépôts solides.....	XVII
Tableau 48: Estimation des apports liquides sur le barrage de Lindi.....	XVIII
Tableau 49: Estimation du volume de la retenue	XVIII
Tableau 50 : Estimation du débit d'équipement	XIX
Tableau 51: Estimation des besoins totaux agricoles.....	XX
Tableau 52: Estimation des dépôts solides au bout de 50 ans.....	XX
Tableau 53: Estimation des apports mensuels liquides	XXI
Tableau 54: Simulation de l'exploitation de la retenue en année décennale sèche.....	XXII
Tableau 55: Simulation de l'exploitation en année normale (sans les besoins pastoraux)	XXIV
Tableau 56 : Simulation de l'exploitation en année normale (avec les besoins pastoraux).....	XXVII
Tableau 57: Estimation du volume de la tranchée d'ancrage.....	XXX
Tableau 58: Détermination des caractéristiques du filtre horizontal.....	XXXIII
Tableau 59: Estimation du volume de l'enrochement des talus.....	XXXVI
Tableau 60: Détermination des dimensions de la digue du barrage de Lindi.....	XXXIX
Tableau 61: Détermination de l'épaisseur minimale du perré de protection du talus amont.....	XL
Tableau 62: Estimation de la surface de décapage.....	XL
Tableau 63: Estimation du volume de remblai de la digue	XLIV
Tableau 64 : Estimation du volume du filtre vertical.....	XLVI
Tableau 65: Estimation des caractéristiques géométriques du bajoyer	XLVIII
Tableau 66: Etude de la stabilité du bajoyer	L
Tableau 67: Estimation de la longueur déversante (déversoir poids).....	LI
Tableau 68 : Estimation de la longueur déversante (radier submersible).....	LI
Tableau 69 : Estimation des caractéristiques géométriques du déversoir voile	LIV
Tableau 70 : Etude de la stabilité du déversoir poids.....	LVI
Tableau 71 : Données de base de calcul du déversoir en radier submersible.....	LVIII
Tableau 72 : Estimation des dimensions de la dalle du radier submersible	LIX
Tableau 73 : Estimation des crues de sécurité.....	LX
Tableau 74: Choix du type de bassin de dissipation.....	LXI
Tableau 75 : Dimensionnement du bassin de dissipation.....	LXIII
Tableau 76: Dimensionnement de l'ouvrage de prise.....	LXIV
Tableau 77 : Devis estimatif des travaux	LXVI
Tableau 78 : Compte d'exploitation du riz par hectare (source : DRAAH-PL).....	LXXVII
Tableau 79 : Compte d'exploitation de l'oignon par hectare (Source : DRAAH-PC)	LXXVIII
Tableau 80 : Bilan d'exploitation.....	LXXIX
Tableau 81: Plan de gestion environnemental et social.....	LXXXI

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte d'accès au village de Lindi (Source : BNDT-IGB).....	XIV
Figure 2 : Carte géomorphologique (Source : BNDT-IGB).....	XVI
Figure 3 : Pourcentage de choix des spéculations maraichères.....	XXIV
Figure 4: Bassin versant du barrage de Lindi.....	XXVI
Figure 5 : Courbe hauteur-surface.....	XXXII
Figure 6: Courbes H(S) et H(V) du barrage de Lindi.....	XXXIII
Figure 7 : Coupe en travers de la digue avec les filtres.....	XXXVII
Figure 8 : Vue en plan du radier submersible.....	XLV
Figure 9 : Vue en plan du bassin de dissipation.....	XLVI
Figure 10: Croquis des emprunts.....	V
Figure 11: Carte pédologique à l'aval du barrage de Lindi.....	V
Figure 12: analyse statistique de la pluviométrie annuelle de Ouagadougou à la loi de GAUSS.....	VII
Figure 13: Analyse statistique des pluies journalière d'Ouagadougou à la loi de GUMBEL.....	IX
Figure 15: Courbe hypsométrique.....	XI
Figure 15 : Prédimensionnement du bajoyer.....	XLVII
Figure 16 : Estimation des efforts sur le bajoyer.....	XLVII
Figure 17 : Prédimensionnement du déversoir poids.....	LII
Figure 18 : Estimation des efforts sur le déversoir poids.....	LIII

FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE LINDI

Désignation	Unité	Caractéristiques	
		APD	Actualisation
I. LOCALISATION			
Village :		Lindi	Lindi
Coordonnées (Exutoire du bassin versant) :	Degré	12°53'10,9''W 01°36'14,4''N	12°53'13''W 01°36'16''N
II. BASSIN VERSANT			
Superficie	km ²	156,84	162,96
Pluviométrie moyenne annuelle	mm	688	793,78
Débit de projet	m ³ /s	150	230
Apports en année décennale sèche	m ³	752 822	752 832
III. CUVETTE			
Côte PHE	m	307,5	308
Côte PEN	m	307	307
Volume d'eau au PHE	m ³	2 014 442	3 451 365
Volume d'eau au PEN	m ³	1 243 170	1 440 570
Superficie du PHE	km ²	181,91	261,36
Superficie du PEN	km ²	126,59	144,17
IV. DIGUE			
Type		A zone	Terre homogène
Côte de calage	m	307	307
Hauteur maximale par rapport au lit mineur	m	4	5
Largeur en crête	m	3,5	3,5
Longueur (déversoir + digue)	m	1 200	1 610
Pente du talus amont = Pente du talus aval	H/V	2/1	2/1
V. EVACUATEUR DE CRUE			
Type / position		Radier submersible/central	Radier submersible/central
Côte crête	m	307	307
Charge maximale sur le seuil	m	1	0,65
Longueur du bassin de dissipation	m	5	5
Longueur déversante	m	90	205
VI. OUVRAGE DE PRISE			
Position		Rive gauche	Rive gauche
Nature et diamètre		Fonte Ø 200 mm	Fonte Ø 400 mm
Côte amont	m	-	305,5
Côte aval	m	-	304,78

I. INTRODUCTION GENERALE

1.1.Introduction

Au Burkina Faso, l'agriculture constitue une des principales activités économiques du pays et assure 80% des emplois dans les zones rurales où vivent la majorité des pauvres (Banque Mondiale, 2008). Vu sous cet angle, elle joue un rôle primordial dans la lutte contre la pauvreté au Burkina Faso.

Cependant, force est de constater que cette agriculture reste toujours soumise aux aléas climatiques. Les effets de ces aléas se traduisent par des productions risquées et des rendements aléatoires (MAZOYER. M, ROUDART. L, 2002). A cela s'ajoutent le nombre grandissant des terres dégradées et la faiblesse de la maîtrise de l'eau.

C'est dans cette optique que le gouvernement du Burkina Faso, à travers le Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques et, en conformité avec les objectifs de développement durable, a élaboré et mis en œuvre la politique nationale de la sécurité alimentaire et de la réduction de la pauvreté en milieu rural. L'un des axes prioritaires de cette politique est le développement de la culture irriguée.

1.2.Problématique

Dans un contexte marqué par une extrême pauvreté et face à la persistance des effets néfastes des aléas climatiques sur son agriculture, le gouvernement burkinabè a introduit la petite irrigation comme une résolution des questions de la sécurité alimentaire et de la pauvreté. Ainsi, à la onzième journée nationale du paysan tenue en juin 2001 à Banfora, il a été décidé d'entreprendre des actions relatives à la petite irrigation dans toutes les régions.

A cet effet, le Gouvernement burkinabè a obtenu de la banque islamique un crédit d'un coût global de 10 milliards pour le financement du Projet de Développement Rural Intégré du Plateau Central.

Dans sa mise en œuvre à travers la composante A, il envisage réaliser entre autre un barrage avec périmètre irrigué dans le village de Lindi dans la commune rurale d'Ourgou- Manéga.

Les études d'avant-projet détaillées, ont été réalisées en juillet 2012 par le bureau d'études CETECH CONSULT. Ces études présentaient des insuffisances techniques parmi lesquelles on peut citer :

- ✓ Choix non justifié du type d'évacuateur de crue,
- ✓ Absence d'étude de stabilité de l'évacuateur de crue,
- ✓ Absence de dimensionnement du mur bajoyer,

- ✓ Existence de concessions non inventoriées dans le plan de gestion environnementale et sociale,
- ✓ Etc.

D'où la volonté du maître d'ouvrage à vouloir actualiser ces études avant la mise en œuvre du projet. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce présent mémoire d'ingénierie dont le thème est « Actualisation des études techniques du barrage de Lindi dans la commune rurale d'Ourgou-Manéga, région du Plateau Central ».

1.3.Objectifs

L'objectif général est d'actualiser les études techniques existantes.

Il s'agit spécifiquement :

- ✓ D'étudier la substitution du déversoir-voile à contrefort par un déversoir-radier submersible,
- ✓ D'actualiser les plans de conception de l'ouvrage,
- ✓ D'élaborer un état comparatif du coût du projet initial et celui issu de l'adaptation du projet,

Outre l'introduction et la conclusion, le présent mémoire est structuré en cinq grands chapitres. Le premier chapitre porte sur la synthèse des études de base. Il présente toutes les données de base ayant servi de dimensionnement aux études d'avant-projet détaillé.

Le second chapitre est consacré à la synthèse des études de conception de l'avant-projet détaillé. Le troisième chapitre présente les matériels et les méthodes utilisés pour atteindre les objectifs. Ce volet aborde les caractéristiques de la zone d'étude, la méthode de collecte des données et de la conception. Il aborde aussi le dimensionnement des ouvrages ainsi que des moyens utilisés. Le quatrième chapitre présente les différents résultats obtenus. Enfin, le cinquième chapitre présente les recommandations et les perspectives relatives à la bonne mise en œuvre du projet.

II. SYNTHÈSE DES ÉTUDES DE BASE

Ce chapitre présente la synthèse des études réalisées par l'APD. En un premier temps, il aborde les études socio-économiques. Ensuite, il présente les plans de gestion environnementale. Enfin, il présente les aspects géotechniques.

2.1 Études socio-économiques

2.1.1. Effectif de la population

Selon le recensement général de la population humaine réalisé en 2006, le village de Lindi a totalisé 1 387 habitants dont 54,22% de femmes.

Suivant le taux d'accroissement annuel de 3,1% au niveau national, le village de Lindi devrait atteindre 1 883 habitants en 2016.

2.1.2. Agriculture

C'est le premier secteur d'activités de la commune. Elle occupe plus de 90% de la population active. C'est une agriculture de subsistance à dominance céréalière.

Les spéculations couramment rencontrées sont par ordre d'importance :

- les cultures vivrières : le sorgho blanc, le mil, le sorgho rouge, le riz ;
- les légumineuses : le niébé, l'arachide, le sésame, le *vouandzou* (pois de terre).
- les cultures maraîchères : l'oignon, la tomate, l'aubergine, le concombre et la carotte.

Le système de production dominant est celui extensif. Il est le plus ancien et est basé sur la culture sur brûlis. L'exploitation agricole utilise essentiellement la main d'œuvre familiale.

Ce système se caractérise par une faible maîtrise des facteurs de production qui conduit à de faibles rendements des cultures. Cette stratégie de production qui occupe plus de 90% des superficies emblavées est consommatrice d'espace.

Pour lutter contre l'érosion hydrique des sols, les producteurs effectuent des sites antiérosifs.

Les caractéristiques provinciales des productions de la campagne 2010/2011 sont indiquées dans le *Tableau 1*.

Tableau 1 : Situation de la production agricole de la campagne hivernale 2012

Spéculations	Superficie (ha)	Rendement (kg/ha)	Production (tonne)
Sorgho	3727	650	2422,5
Mil	2483	550	1365,65
Maïs	935	500	467,50
Riz	16,45	1022	16,82
Arachide	8220	260	2137,20
Sésame	31	200	6,20
Niébé	3212	450	1040
voandzou	2189	90	197
Total	20 813		

Source : Zone d'Appui Technique de Ourgou-Manéga, mai 2012.

2.1.3. Élevage

Dans la zone du projet, l'élevage est la seconde activité que mènent les producteurs. C'est une activité de plus en plus intégrée à l'agriculture par un apport en traction animale et en fumure organique.

Deux systèmes principaux d'élevage sont pratiqués dans l'ensemble :

- le système sédentaire extensif ou transhumant, pratique dominante. Ce type concerne essentiellement les caprins, les bovins et les ovins ;
- et le système semi-intensif en développement et qui reste tout de même faiblement représenté. Ce système a cours au niveau des fermes agricoles et concerne principalement les ovins et les bovins.

Cette activité concerne la volaille, les ovins, les caprins, les bovins, les asins et les porcins. Les données statistiques sont présentées dans le tableau N°2.

Tableau 2 : Effectif du cheptel par espèce

Espèces	Bovins	Ovins	Caprins	Asins	Porcins	Equins	Volaille
Nombre de têtes	2 885	5 761	8 895	483	550	07	22 842

Source : PCD, Ourgou-Manéga 2008

2.1.4. Adhésion des populations au projet

Les résultats des enquêtes ménages et des entretiens indiquent largement que les populations sont disposées (environ 78%) à contribuer à la gestion et à l'entretien des aménagements futurs à travers le paiement d'une redevance.

Toutefois, une partie non négligeable (environ 20%) est opposée au paiement d'une redevance compte tenu des craintes qu'elle manifeste quant à la bonne gestion des ressources qui seront

mobilisées. Ces réticences interpellent les futurs acteurs sur la nécessité de promouvoir la bonne gouvernance dans la gestion des aménagements.

En termes de niveau de contribution, la majorité (55%) se dégage pour une contribution n'excédant pas 5 000 FCFA (CETECH CONSULT, 2014).

2.2 Études environnementales

Une Notice d'Impact Environnemental (NIE) du projet a été élaborée dans le souci de prendre en compte les préoccupations environnementales. Elle a permis de conclure que le projet de construction du barrage et des aménagements hydro agricoles est d'une importance capitale pour la zone et particulièrement le village de Lindi.

L'identification des sources d'impacts liées aux différentes activités du projet ont permis de mettre en évidence des impacts positifs ou négatifs qui affectent les composantes des milieux biophysique et humain lors des travaux de construction et d'exploitation des ouvrages. L'analyse de ces impacts a conduit à la mise en place d'un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) dont la mise en œuvre permettra d'atténuer ces effets sur le milieu. Le détail est joint en annexes dans le *Tableau 81*.

2.3 Études pédologiques

Deux types de sols ont été identifiés sur le bassin versant de Lindi (CETECH CONSULT, 2014). Il s'agit de :

- La classe des sols hydromorphes qui comprend le sous-groupe des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface (HPGS),
- La classe des Sols à sesquioxydes de fer et de manganèse qui comprend le sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux (FLM) et des sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions (FLTC). Le détail des caractéristiques des sols est représenté en annexes par la Figure 11.

2.4 Études géotechniques

2.4.1. Investigations sur la fondation du barrage

Des sondages ont été réalisés sur l'axe du barrage avec un intervalle de 50 m entre les puits. Les profondeurs variant de 0,5 m au niveau des rives à 4 m au niveau du lit mineur. Les caractéristiques de ces sondages sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau 3 : Résultats des essais sur échantillon d'argile

Emprunt	Nature	Granulométrie		Limites d'Atterberg			Proctor normal		Cisaillement direct		Perméabilité (m/s)
		Tamisage		W _L	W _P	I _P	W _{opm}	γ _{d opm}	C (kPa)	Ø (°)	
		D _{max} (mm)	% fines								
Emprunt2	Argile	5	93	38	16	22	15	1,78	43,4	4	5,1*10 ⁻⁶

Tableau 4 : Résultat des essais de sédimentométrie

Échantillons	Gravier (Ø >5)	Limon (80μ > Ø > 2μ)	Argile (Ø < 2μ)
Emprunt 2	0	58	24

Tableau 5 : Résultat des essais sur la grave argilo-latéritique

Emprunt	Nature	Granulométrie		Limites d'Atterberg			Proctor modifié		CBR	
		Tamisage		W _L	W _P	I _P	W _{opm}	γ _{d opm}	95%	98%
		D _{max} (mm)	% fines							
Emprunt2	GAL	16	24	40	16	24	10,5	2,04	24	31

Tableau 6 : Résultats des essais sur sable

Emprunt	Nature	Granulométrie					Équivalent de sable		Masses volumiques	
		D _{max} (mm)	% fine	Cu	Cc	Mf	EVS moyen (%)	ES piston (%)	Réelle (g/cm ³)	Apparente (g/cm ³)
Emprunt3	Sable	6,30	1	1,8	1,28	2,09	85	81	2,69	1,48

2.4.2. Investigation sur les zones d'emprunt

➤ Moellons latéritiques

On en trouve dans le quartier PIHL-PAHLE à 5 km du site (coordonnées UTM : 30P 0654502/1424496) et sur les collines de NAMASSA.

➤ Matériaux argileux

Une zone d'emprunt argileux a été identifiée dans la cuvette de la retenue en rive gauche à 120 m de l'axe du barrage. L'identification de ce matériau par la classification USCS montre qu'on est en présence d'argile peu plastique. Ce matériau peut être utilisé pour les remblais de la digue du barrage, de la digue de protection et des canaux d'irrigation. La capacité de l'emprunt est estimée à 56 000 m³.

La zone d'emprunt de graveleux latéritique, localisée à environ 450 m en amont de la digue, dispose également de bons graveleux latéritiques. La quantité disponible est estimée à 5 000 m³ (ACIT Géotechnique, 2016).

➤ **Gravier quartzique**

On en trouve sur les collines du village de TEGUE-SAGBO à 9 km du site (coordonnées UTM : 30P 0656140/1429176). Le quartz est très grossier mais les femmes le concassent manuellement pour le vendre aux camionneurs.

L'identification de ce gravier par la classification USCS montre que c'est de la grave propre mal graduée (GP). Le gravier écrêté ou concassé est convenable pour le béton.

➤ **Sable**

On en trouve le long d'un cours d'eau dans le village de GADEMTENGA à 15 km du site (coordonnée UTM : 30P 0648817/1412621).

L'identification de ce sable par la classification USCS montre que c'est du sable propre mal gradué (SP) et du sable limoneux. Ce sable n'est pas convenable pour le béton.

Le sable de bonne qualité est inexistant au voisinage du site.

III. SYNTHÈSE DES ÉTUDES CONCEPTION DE L'APD

3.1. Résultats de conception du barrage de l'APD

3.1.1. Études hydrologiques de l'APD

➤ Caractéristiques du bassin versant

Les caractéristiques géométriques évaluées par les études APD se définissent dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Caractéristiques physiques du bassin versant de l'APD

Désignation	Valeur
Régime	Sahélien
Superficie (km ²)	156,84
Périmètre (km)	59,41
Classe d'infiltrabilité	RI
Indice de compacité	1,32
Longueur du rectangle équivalent (km)	22,83
Indice global de pente (m/km)	0,9
Coefficient d'écoulement décennal (%)	12,52
Débit de crue décennale (m ³ /s)	30
Débit de crue centennale (m ³ /s)	60
Débit de projet (m ³ /s)	150

➤ Analyse statistiques des pluies

L'ajustement à la loi Normale et à la loi de Gauss de Boussé par les études APD a donné les résultats suivants :

Tableau 8 : Valeurs caractéristiques de la pluviométrie de l'APD

Désignation	Valeur
Pluie annuelle moyenne Pan (mm)	688
Pluie décennale humide (mm)	834
Pluie décennale sèche (mm)	541,9
Pluie quinquennale humide (mm)	783,9
Pluie quinquennale sèche (mm)	592,1
Pluie centennale humide (mm)	953,1
Pluie centennale sèche (mm)	422,9
Pluie journalière décennale humide (mm)	85,5
Pluie journalière quinquennale humide (mm)	75,6
Pluie journalière centennale humide (mm)	116,2

➤ **Apports liquides**

Les apports liquides estimés par l'APD à partir de la méthode de Rodier se présentent comme suit :

Tableau 9 : Valeurs caractéristiques des apports liquides de l'APD

Désignation	P (mm)	Ke (%)	Lame d'eau (mm)	V (m ³)
Année moyenne	688	3,2	22	3 831 965
Année quinquennale sèche	592,1	1,35	8	1 356 770
Année décennale sèche	541,9	0,83	4,5	750 563

➤ **Apports en sédiments**

Les dépôts solides estimés par les études APD sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Valeurs caractéristiques des dépôts solides de l'APD

Durée de retour	Grésillon	Gottschalk
Dépôts solides (m ³ /an)	90 280	24 597

3.1.2. Etude de la digue

Les données relatives à la digue sont présentées dans le *Tableau 11*.

Tableau 11 : Résultats de conception de la digue de l'APD

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
1. Digue		
Type de barrage		A zone à noyau étanche en argile
Côte du plan des plus hautes eaux (Z_{PHE})	m	307,5
Surface du plan d'eau normal (S_{PEN})	ha	126,59
Surface du plan des plus hautes eaux (S_{PHE})	ha	181,91
Volume du plan d'eau normal (V_{PEN})	m ³	1 243 170
Volume du plan des plus hautes eaux (V_{PHE})	m ³	2 014 442
Longueur totale (y compris déversoir)	m	1 200
Hauteur maximale par rapport au TN	m	4
Volume du remblai de la digue	m ³	26 760
Epaisseur d'enrochement de la protection du talus amont	cm	30
Largeur en crête	m	3,50
Pente des talus	H/V	2/1
2. Tranchée d'ancrage		
Pente des talus	H/V	1/3
Largeur en base	m	3,50
Profondeur maximale	m	4,50
3. Protection		
Talus amont (épaisseur perré maçonné)	cm	30
Talus aval (épaisseur perré sec)	cm	20
4. Filtres et drains		
Epaisseur minimale du filtre horizontal	cm	40
Epaisseur du filtre vertical	cm	50

3.1.3. Evacuateur de crue et ouvrages annexes

Tableau 12 : Résultats de conception du déversoir de l'APD

	DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
Evacuateur de crue	Type		Voile à contreforts
	Côte de calage	m	307
	Débit de dimensionnement	m ³ /s	150
	Crue de sécurité à la côte crête de la digue	m ³ /s	
	Crue de sécurité à la côte du mur parapet	m ³ /s	
	Longueur déversante	m	90
	Lame d'eau au-dessus du déversoir	m	1
Ouvrages annexes	I. BASSIN DE DISSIPATION		
	Type		Non défini
	Longueur	m	5
	Longueur du dispositif de protection aval	m	10
	II. OUVRAGE DE PRISE		
	Diamètre nominal (en fonte)	mm	200
	Longueur	m	30
	Côte de calage amont	m	304,92
Côte de calage aval	m	-	

3.2.Synthèse des insuffisances techniques de l'APD

3.2.1. Études géotechniques

Les sondages au niveau de l'axe de du barrage et de la cuvette sont insuffisants.

La caractérisation des matériaux (sable, argile) est insuffisante.

La non identification des sites d'emprunt de fiable perméabilité.

Le manque de quantification du volume des emprunts pouvant être utilisés pour la construction de la digue.

3.2.2. Études hydrologiques

Le choix des données pluviométriques de la station de Boussé par l'APD n'a pas été justifié.

De plus la chronologie et le nombre d'échantillons de cette station ne sont pas précisés.

Les paramètres géomorphologiques ayant servi de base de calcul sont relatifs au régime sahélien alors que la zone du projet relève du régime tropical. Se référer au Tableau 31 joint en annexe pour apercevoir le détail de ces paramètres.

Les pentes transversales du bassin versant n'ont pas été définies par les études APD. En effet, ces pentes permettent de définir la nécessité ou pas de corriger l'indice global de pente.

Le choix du débit de 150 m³/s comme débit de projet n'a pas été justifié par l'APD. En effet, l'APD a trouvé un débit centennal de 60 m³/s et le passage de ce débit au débit de projet n'est pas défini dans les études hydrologiques de l'APD.

3.2.3. Études de la digue

La cote des plus hautes eaux (307,5) ne ferme pas. Les crues pourraient inonder le périmètre en aval et détruire les ouvrages.

Les murs parapet ne sont pas décrits dans le mémoire technique.

La position des filtres ne figure pas sur le profil en long.

Absence d'un géotextile entre le remblai et le filtre pour être sûr de contenir la dispersivité du matériel argileux.

L'épaisseur de 30 cm de l'enrochement de protection du talus amont est insuffisante pour lutter contre le battillage.

Le dimensionnement du mur bajoyer n'a pas été réalisé.

Existence de 5 concessions qui ne sont pas inventoriées dans le plan de gestion environnemental et social.

La courbe d'exploitation de la retenue n'a pas été élaborée. Il est alors difficile d'évaluer le niveau minimum d'eau dans le barrage pour apprécier le calage de la prise.

Etudes de l'évacuateur de crue et ouvrages annexes

L'étude de la stabilité du déversoir voile à contreforts n'a pas été réalisée.

La section de conduite DN200 de la prise semble insuffisante pour le débit projeté à l'aval.

Le choix du type de bassin de dissipation n'a pas justifié.

IV. MATERIEL ET METHODES

Ce chapitre présente d'abord quelques aspects physiques de la zone d'étude. Ensuite, nous décrivons la méthodologie de collecte de données, de dimensionnement et de la conception de l'ouvrage. Il présente aussi les matériels utilisés.

4.1. Présentation de la zone d'étude

➤ Localisation et accessibilité

Le village de Lindi est situé à 28 km de la commune rurale d'Ourgou-Manéga dans la région du Plateau Central, elle-même située à 55 km de Ouagadougou. Le site devant abriter le futur barrage est localisé par $1^{\circ} 36' 14,4''$ de longitude Ouest et $12^{\circ} 53' 10,9''$ de latitude Nord. L'accès à Lindi se fait par la route Ouagadougou-Kongoussi. A 45 km d'Ouagadougou, on emprunte la route en terre se situant à gauche et à 10 km on arrive à Lindi. La figure 1 situe le village de Lindi.

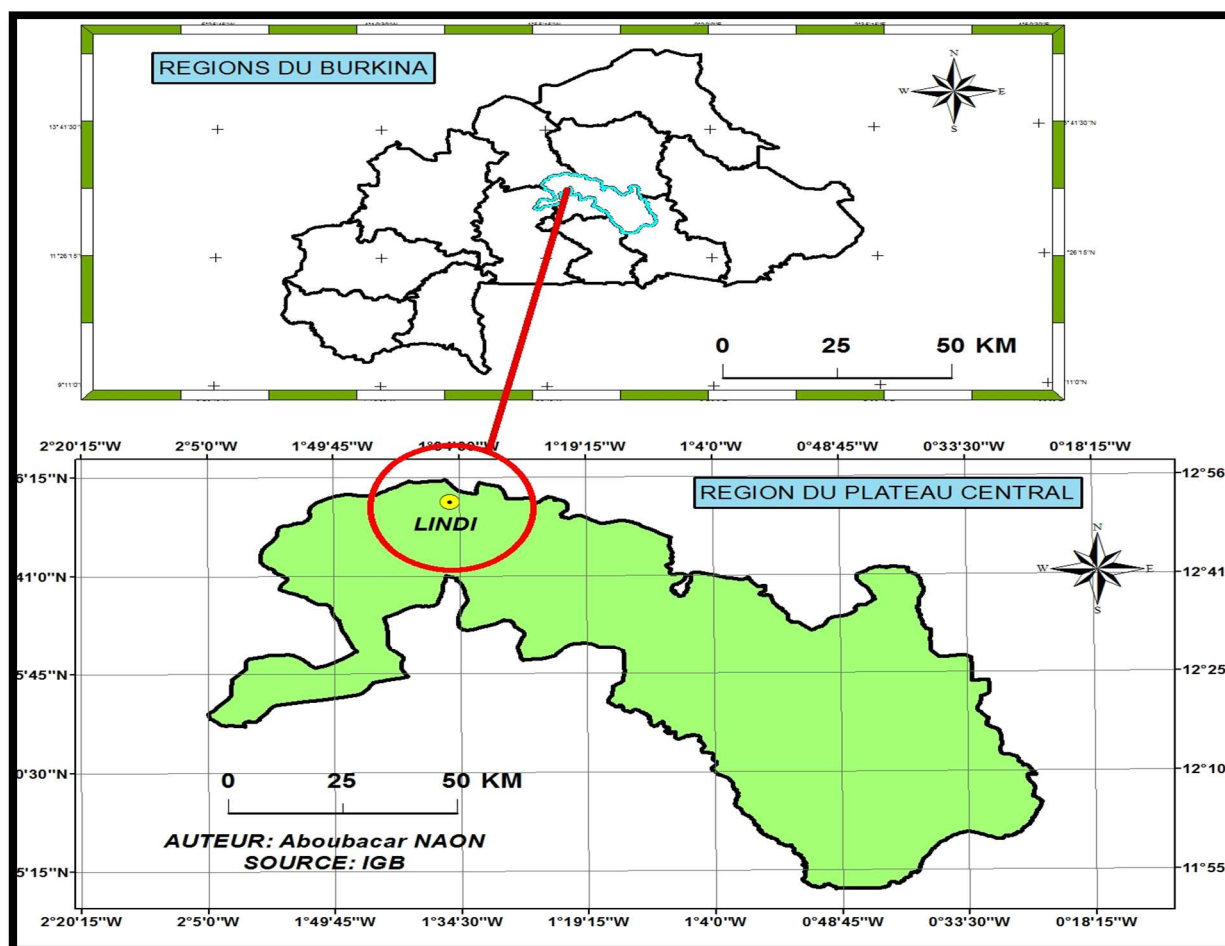


Figure 1: Carte d'accès au village de Lindi (Source : BNDT-IGB)

➤ **Climat**

Le village de Lindi est soumis au régime tropical soudano-sahélien qui caractérise l'ensemble de la province d'Oubritenga. Ce climat se traduit par l'alternance d'une saison sèche (d'Octobre à Mai) et d'une saison pluvieuse (de Juin à Septembre). La pluviométrie varie de 600 à 800 mm/an (PCD Ziniaré, 2009).

➤ **Réseau hydrographique**

Peu dense, le réseau hydrographique est constitué par les petits affluents du Nakanbé. Ces différentes ramifications forment le bassin versant du Nakanbé. Ces cours d'eau ne sont pas pérennes. En effet, ils retiennent l'eau généralement de Juin à Novembre ; puis s'assèchent.

➤ **Végétation**

La végétation rencontrée dans la majeure partie de la commune d'Ourgou-Manéga est composée de savane arborée et de savane arbustive. Les espèces les plus rencontrées sont entre autres le karité, le balanités, le néné etc. Cette végétation est soumise à une forte dégradation liée aux aléas climatiques, aux actions anthropiques et à la pression démographique (APD barrage de Lindi, 2009).

➤ **Géomorphologie**

La géomorphologie des sols existant au droit de l'exutoire du barrage est présentée par la *Figure 2*.

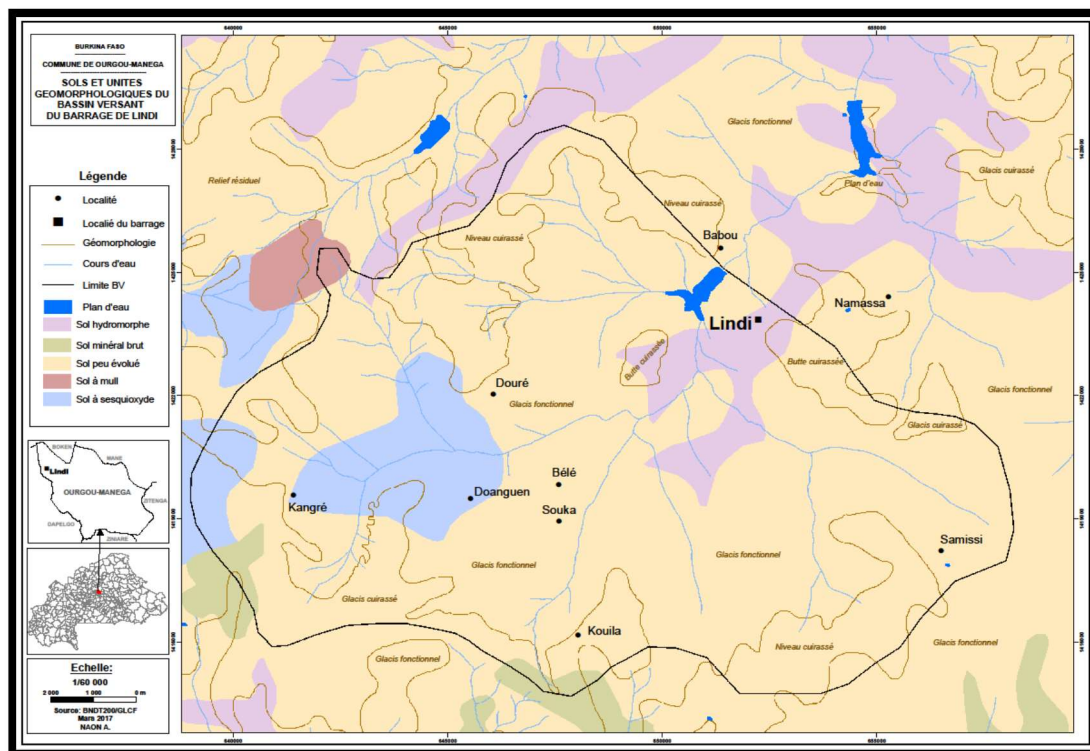


Figure 2 : Carte géomorphologique (Source : BNDT-IGB)

4.2. Méthodologie de collecte des données

4.2.1. Rencontre préliminaire

Cette rencontre nous a permis de définir avec la structure d'accueil un consensus autour des objectifs du stage et l'actualisation du chronogramme relatif au déroulement du stage.

4.2.2. Revue documentaire

Elle nous a permis de disposer des données sur le contexte dans lequel le projet a été élaboré. Il s'agit des informations sur la zone du projet, les études APD. La liste des principaux documents exploités est dans la bibliographie.

4.2.3. Collecte opérationnelle des données

D'une part, il s'est agi pour nous d'administrer les questionnaires aux bénéficiaires et aux services techniques (météo, élevage et agriculture). D'autre part, de collecter des données relatives à l'ouvrage (dimensions du chenal, levé topographiques, mesure de perméabilité etc.).

4.2.4. Travaux de bureau

Il s'est agi pour nous de traiter et d'analyser les données collectées en vue de concevoir et de redimensionner l'ouvrage.

4.3.Méthodologie de conception

4.3.1. Enquête terrain

L'échantillon d'enquête a été estimé à partir de la formule suivante :

$$N' = \frac{385}{1 + \frac{385}{N}} \quad \text{Avec : } N = \text{population totale, } N' = \text{taille de l'échantillon.}$$

4.3.2. Etudes hydrologiques

a. Etudes pluviométriques

Les données pluviométriques de la station synoptique d'Ouagadougou ont servi de base aux études pluviométriques. Ces données ont d'abord été classées en hauteurs de pluies annuelles moyennes et de pluies maximales journalières. Ensuite elles ont été soumises à une analyse statistique à l'aide des logiciels HYDROLAB et Excel afin de déterminer les quantiles correspondant aux différentes périodes de retour pour un niveau de confiance estimé à 95%.

La chronique des pluies moyennes annuelles a été analysée par ajustement à la loi normale de GAUSS sur la période 1953 à 2015, soit 62 valeurs. Celle des pluies maximales journalières a été analysée par ajustement à la loi de GUMBEL sur la période 1969 à 2015, soit 46 valeurs.

b. Détermination des paramètres hydrologiques du bassin versant

Le bassin versant a été délimité grâce aux logiciels ARCGIS, Google Earth et Global Mapper version 2013 à partir de l'exutoire. Ses paramètres ont été soit estimés systématiquement, soit estimés à partir de formules empiriques.

c. Evaluation des apports liquides

La méthode de Rodier a été utilisée pour l'estimation des paramètres entrant dans le calcul des apports et le bassin versant a été identifié à celui de Kamboinsé.

Le volume (V) de ces apports a été estimé à l'aide de la formule suivante :

$$V = K_e * P_{an} * S$$

Avec : K_e = coefficient d'écoulement

P_{an} = pluviométrie annuelle,

S = superficie du bassin versant

d. Evaluation du débit de la crue décennale

En absence de données hydrométriques sur notre bassin versant, les débits de crue décennale (Q_{10}) ont été estimés à partir des formules empiriques proposées par les chercheurs de l'ORSTOM et du CIEH.

Ces formules se présentent comme suit :

➤ **Méthode d'ORSTOM**

$$Q_{10} \text{ (m}^3\text{/s)} = (\alpha * S * P_{10} * A * K_{r10}) / T_{b10}$$

Avec : α = coefficient de pointe = 1,03.

S (km²) = superficie du bassin versant.

P₁₀ (mm) = pluie maximale journalière décennale.

A = coefficient d'abattement.

K_{r10} = coefficient de ruissèlement décennale en %.

T_{b10} (s) = temps de base = $325 * S^{0,36} + 315$

➤ **Méthode du CIEH**

$$Q_{10} \text{ (m}^3\text{/s)} = a S^s * P_{m10}^p * I_g^i * K_{kr10}^k * D^d$$

Avec : a, s, p, i, k et d à déterminer dans le tableau n°11 du bulletin FAO 54.

S (km²) = superficie du bassin versant.

P_{pm10} (mm) = hauteur de pluie journalière décennale moyenne sur le bassin versant.

I_g (m/km) = indice global de pente.

K_{r10} (%) = coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale.

D_d (km⁻¹) = densité de drainage.

e. Evaluation du débit de la crue centennale

Le débit de la crue centennale (Q₁₀₀) a été estimé à partir des formules du GRATEX, de MATON et de l'ASEER (association européenne d'études d'équipements ruraux).

Ces formules se présentent comme suit :

➤ **Gratex** : $Q_{100} = 2,73 * Q_{10}$.

➤ **Maton** : $Q_{100} = 1,45 * Q_{10}$.

➤ **ASEER** : $Q_{100} = 2 * Q_{10}$.

Avec : Q₁₀ = crue décennale.

4.3.3. Etude de la retenue

a. Evaluation des besoins en eau des cultures

Les besoins bruts (B_b) des plantes ont été estimés à partir des paramètres suivants :

- Evapotranspiration de référence (ET₀),
- Efficience du système d'irrigation (E),
- Coefficient cultural des plantes (K_c),

- Besoins nets (B_n),
- Surface totale à irriguer (S).

Les besoins nets ont été estimés à partir de la pluie efficace (P_e), du coefficient cultural et de l'évapotranspiration de référence. Le logiciel CROPWAT 8.0 de la FAO a été utilisé pour la détermination des coefficients culturaux.

Ces formules se présentent comme suit :

- P_e (mm) = $0,8 * P$ si $P \geq 20$ mm et P_e (mm) = P si $P < 20$ mm avec P = pluviométrie moyenne mensuelles.
- $B_n = K_c * ET_0 - P_e$ et $B_b = B_b/E$.

b. Evaluation des besoins en eau pastoraux

Les besoins en eau pastoraux ont été estimés à partir du nombre de bétail à desservir et de la consommation qui est de 30 litres/jour/UBT. La population d'UBT a été actualisée à l'aide de la formule suivante :

$$P_n = P_0 (1 + T_x)^n$$

Avec : P_n = population à l'échéance du projet, P_0 = population initiale, n = nombre d'année, T_x = taux d'accroissement.

c. Evaluation des pertes

Il s'est agi de l'évaluation des pertes par évaporation au niveau du plan d'eau, des pertes par infiltration et des pertes par dépôts solides.

La **lame d'eau évaporée** sur le plan d'eau a été estimée à partir du rapport « Evaporation-lac/ ET_0 », sous climat tropical. C'est-à-dire Evaporation au niveau du lac/ $ET_0 = 1,2$ pour les mois secs et Evaporation au niveau du lac/ $ET_0 = 1,05$ pour les mois pluvieux (CIEH et al, 1994).

Les **pertes par dépôts solides**, ont été estimées à partir des formules empiriques de Grésillon et de Gottschalk.

Ces formules se présentent comme suit :

- **Grésillon**

$$V \text{ (m}^3\text{/an)} = 700 * (P/500)^{-2.2} * S^{-0.1} * S$$

Avec : P (mm) = pluviométrie moyenne annuelle

- **GOTTSCHALK**

$$V \text{ (m}^3\text{/an)} = 260 * S^{-0.1} * S$$

Avec : S (km²) = superficie du bassin versant

Les **pertes par infiltration** au Burkina Faso sont de l'ordre de 2 mm/jour (Harouna KARAMBIRI and Ismaila GUEYE, 2006) . Elles ont été considérées constantes tout au long de la durée vie de l'ouvrage pour les besoins de calcul tout en sachant qu'elles vont diminuer avec le temps à cause des dépôts fins qui auront tendance à imperméabiliser la cuvette.

d. Evaluation du volume de la retenue

Le volume de la retenue a été estimé en évaluant d'abord les surfaces des plans correspondant à chaque courbe avec une équidistance de 0,5 m entre les courbes de niveau.

Ensuite, le volume moyen correspondant à chaque tranche a été estimé à partir des formules empiriques.

Pour cela, la méthode dite de « méthode rigoureuse » a été utilisée pour l'estimation du volume.

e. Simulation de l'utilisation de la retenue

La simulation de la retenue été réalisée à partir des courbes hauteur-volume et hauteur-surface. Elle a été faite en prenant en compte les pertes d'eau, les besoins en eau (agricoles et pastoraux) et la superficie totale à irriguer.

Aussi, a-t-elle été réalisée dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire la situation présentant le plus bas taux de remplissage du barrage.

4.3.4. Dimensionnement de la digue

a. Justification du choix du type de barrage

Compte tenu de la disponibilité de sols fins à proximité du site et de la profondeur du substratum rocheux (supérieur à 5 m), le barrage en terre homogène a été retenu comme le choix le plus économique (Gérard Degoutte, 1997).

Les pentes des talus ont été déterminées en fonction de la nature des matériaux et de la hauteur du barrage.

b. Détermination de l'axe et des dimensions de la digue

L'axe et la longueur du barrage ont été estimés à partir des données topographiques.

La hauteur (E) de la digue a été estimée à partir du plan d'eau normal, des plus hautes eaux et de la hauteur des vagues. La formule de son estimation est définie comme suit :

$$E (m) = H + h + R.$$

Avec : H = hauteur maximale de l'eau,

h = hauteur des vagues a été estimée à partir des formules suivantes :

➤ **Mallet et Pacquant** : $h (m) = \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\sqrt{f(km)}$ avec $f = \text{Fetch}$,

- **Stevenson** : $h \text{ (m)} = 0,75 + 0,34\sqrt{f(km)}$,
- **Molitor** : $h \text{ (m)} = 0,76 + 0,032\sqrt{Uf(km)} - 0,26\sqrt{Uf(km)}$,

R = la revanche a été estimée à partir de la formule de Gaillard : $R = 0,75h + \frac{v^2}{2g}$.

Avec U (km/h) = vitesse maximale du vent, V (m/s) = vitesse des vagues.

Cette vitesse (V) de propagation des vagues a été estimée à partir des formules suivantes :

- **Mallet et Pacquant** : $V \text{ (m/s)} = \frac{3}{2} + \frac{2}{3}h$,
- **Gaillard** : $V \text{ (m/s)} = 1,5 + 2h$.

La largeur (lc) en crête a été estimée à partir des formules de KNAPPEN et de PREECE qui se définissent comme suit :

- **KNAPPEN** : $lc = 1,65 * \sqrt{E}$
- **PREECE** : $lc = 1,1 * \sqrt{E} + 1$

c. Protection

➤ **Filtres et drains**

Filtre horizontal

C'est un organe (drain) destiné à intercepter et à évacuer les eaux d'infiltration dans le remblai.

Pour cela le débit de fuite à travers le remblai (Q_f) a été estimé par la méthode simplifiée de KOZENY et se définit comme suit :

$$Q_f \text{ (m}^3\text{/s/ml)} = K_r * (\sqrt{H^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - H^2 \cot^2 \alpha}) * \sin \alpha^2$$

Avec : K_r = perméabilité du remblai compacté,

H = charge de l'eau,

d = largeur en base de la digue = $L_i - 0,7 * (Z_{PEN} - Z_{TN})$

α = Angle des talus.

Les dimensions du filtre ont été estimées comme suit :

- Largeur : $l_f = \frac{1}{3} L_i$ avec L_i = largeur en base intermédiaire
- Epaisseur : $e = 2 * \left(\frac{Q_f * l_f}{K_f}\right)^{0,5}$
- Volume : $V = e * S$

Le tapis filtrant a été posé sur des profils présentant une charge assez élevée ($Z_{PHE} - Z_{TN} \geq 1,5$ m).

Filtre vertical

Il est associé au filtre horizontal dans le but d'empêcher la migration potentielle des particules fines du massif à drainer vers le milieu drainé.

Les conditions de non entrainement des particules fines et de perméabilité ont été définies par la formulation suivante : $5D_{85} > D_{15}$.

Aussi la stabilité interne du matériau a été définie par la condition suivante : $2 < \frac{D_{60}}{D_{10}} < 8$.

➤ Talus

Afin de protéger les talus contre le désordre que peut créer la baisse de niveau du plan d'eau et les effets nuisibles des eaux de ruissèlement, en amont, il est prévu une couche de perré maçonné posée sur un lit de sable en matériaux sélectionnés. L'épaisseur minimale de l'enrochement de protection a été estimée par les méthodes suivantes :

- Tennessee Valley Authority : $E_p = CV^2$, avec C = un coefficient = f (pentes, poids volumique),
- USA Army Corps of Engineers : E_p = lecture sur abaque.

Le talus aval est protégé avec du perré sec plus de l'enherbement.

➤ Crête

Le couronnement de la digue est drainé vers l'amont grâce à une pente de 3%. La largeur en crête est protégée par une couche de matériaux graveleux latéritique d'épaisseur 20 cm.

4.3.5. Evacuateur de crue et ouvrages annexes

a. Evacuateur de crue

Le choix du type d'évacuateur de crue a été fait en prenant les contraintes budgétaires du projet et la crue de projet.

Sa longueur a été estimée à partir de la formule de débit sur un seuil dénoyé qui se présente comme suit :

$$Q = m * L * \sqrt{2g} * h^{\frac{3}{2}}$$

Avec : Q (m³/s) = débit de projet, m = coefficient de débit du seuil, L (m) = longueur déversante, g (m/s²) = accélération de la pesanteur, h = hauteur de la lame d'eau.

L'effet de laminage a été évalué par la méthode du 'X₀' dans l'optique de réduire la longueur déversante sans pour autant augmenter le risque de submersion de la digue.

b. Bassin de dissipation et ouvrage de prise

Le choix du type de bassin de dissipation a été fait en fonction de la vitesse de l'eau à l'entrée du bassin et du nombre de Froude.

Les dimensions géométriques du bassin ont été estimées soit à partir des abaques proposés par Grésillon et Lahaye, soit à partir de formules de calcul.

Le choix du type d'ouvrage de prise a été fait en fonction des contraintes budgétaires et de la charge d'eau disponible. Son diamètre a été déterminé à partir de la formule de Torriceli qui se définit comme suit :

$$Q_c = C * \pi * \frac{D^2}{4} * \sqrt{2gH}$$

Avec : C = coefficient, D = diamètre de la conduite, H = charge de l'eau.

La méthodologie définie ci-dessus prend en compte les objectifs visés par l'étude.

Les résultats obtenus à l'issue de l'application de cette méthodologie seront développés dans le chapitre suivant.

V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

5.1. Enquêtes socio-économiques

➤ Echantillonnage (actualisation)

L'échantillon à enquêter a été estimé à partir de l'actualisation de la population du village de Lindi. Le taux d'accroissement de la population a été pris égal à 3,1% (RGPH, 2006). Les résultats se présentent comme suit :

Tableau 13 : Estimation de l'échantillon d'enquête

Désignation		2006	2017
Population	Habitants	651	911
	Ménages	65	91
Echantillon	Habitants	-	271
	Ménages	-	30

➤ Agriculture (actualisation)

Les résultats de l'enquête relative à la préférence des producteurs pour les spéculations maraichères se présentent comme suit.

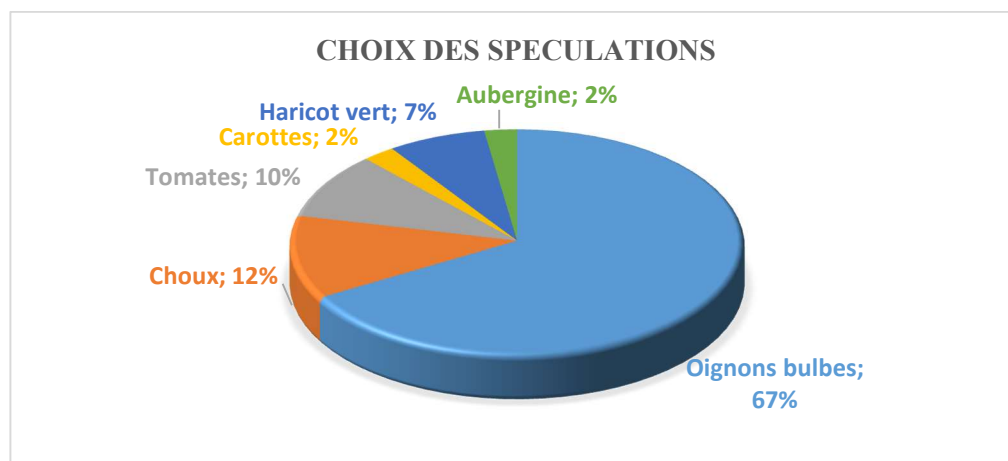


Figure 3 : Pourcentage de choix des spéculations maraichères

➤ Elevage (actualisation)

Les taux d'accroissement annuel des espèces animales de la région du Plateau Central se définissent comme suit : les bovins (2%), les ovins (13,09%), les caprins (3%), les porcins (2%) et les asins (2%) (INSD-MEF, 2010). Les évaluations ont été faites sur l'hypothèse que

seulement 20% du bétail de la commune d'Ourgou-Manéga vont s'abreuver à partir du barrage.

Les résultats se présentent comme suit :

Tableau 14 : Population animale desservie

Espèces animales	Nombre de têtes en 2008	Taux d'accroissement	Nombre de têtes en 2067	Nombre d'UBT	Nombre d'UBT desservi (20%)
Bovins	2 885	2%	7 611	7 611	1 522
Ovins	5 761	13,09%	2 389 409	477 882	95 576
Caprins	8 895	3%	37 855	7 571	1 514
Porcins	550	2%	1 450	290	58
Asins	483	2%	1 274	255	51
Total	18 574		2 437 599	493 609	98 722

5.2. Etudes hydrologiques actualisées

Ces études ont porté sur la vérification des paramètres hydrologiques qui serviront de base de dimensionnement des ouvrages.

5.2.1. Etudes pluviométriques

Les données de la station synoptique la plus proche du site qui nous a été recommandée par les services de la météorologie est celle Ouagadougou.

Deux séries de données pluviométriques ont été obtenues à savoir la chronique des pluies moyennes annuelles sur la période de 1953 à 2015 et la chronique des pluies maximales journalières sur la période de 1969 à 2015 (Confère *Tableau 39* en annexes).

La première série a été ajustée à la loi normale de GAUSS (confère *Tableau 40* en annexes).

La seconde série a été ajustée à la loi de GUMBEL (confère *Tableau 30* en annexes).

La synthèse des résultats est présentée dans le *Tableau 15*.

Tableau 15 : Résultat de l'analyse des pluies de la station synoptique d'Ouagadougou

Caractéristiques	Valeurs (mm)
Pluie annuelle moyenne	793,78
Pluie centennale humide	1 138,44
Pluie centennale sèche	449,12
Pluie décennale humide	983,64
Pluie décennale sèche	603,92
Pluie quinquennale humide	918,43
Pluie quinquennale sèche	669,14
Pluie journalière décennale humide	84,89
Pluie journalière décennale sèche	46,47
Pluie journalière quinquennale humide	75,54
Pluie journalière quinquennale sèche	50,93

5.2.2. Etudes du bassin versant

Ces études ont porté d'une part sur la délimitation du bassin versant en vue de déterminer ses caractéristiques morphologiques. D'autre part sur la prédétermination des débits de crues décennales et centennales. Le détail des calculs est joint dans le *Tableau 42* en annexes.

➤ Délimitation du bassin versant

La *Figure 4* suivante présente la délimitation du bassin versant du barrage de Lindi.

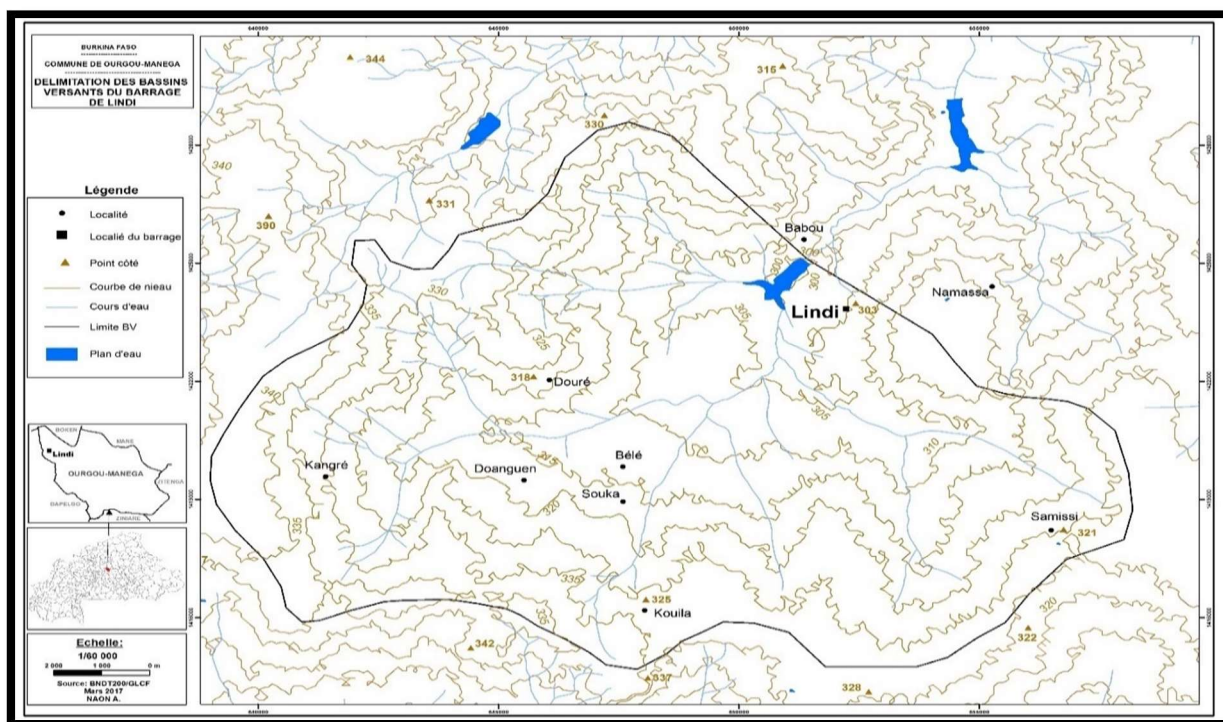


Figure 4: Bassin versant du barrage de Lindi

➤ Caractéristiques du bassin versant

Les paramètres morphologiques du bassin versant obtenus à l'issue de la réévaluation se présentent comme suit :

Tableau 16 : Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant

DÉSIGNATION	Valeurs
Superficie (km ²)	162,96
Périmètre (km)	62
Classe d'infiltrabilité	RI
Indice de compacité	1,37
Longueur du rectangle équivalent (km)	24,29
Pente transversale (m/km)	0,49
Indice global de pente (m/km)	0,91
Indice global de pente corrigé (m/km)	6,90

➤ **Estimation de la crue décennale**

La crue décennale a été évaluée par les méthodes d'ORSTOM et du CIEH.

Les résultats obtenus se présentent comme suit (le détail des calculs est joint dans le *Tableau 42* en annexes) :

- Méthode d'ORSTOM : **65 m³/s**.
- Méthode du CIEH : **83,64 m³/s**, soit 84 m³/s.

La crue décennale adoptée a été prise égale au maximum des deux méthodes.

Donc la crue décennale retenue est de **84 m³/s**.

➤ **Estimation de la crue centennale**

La crue centennale a été estimée en multipliant la crue décennale par un coefficient majorateur.

Pour cela trois méthodes de calcul ont été utilisées et les résultats obtenus se définissent comme suit :

- Méthode de Maton (C = 1,45) : **121,27 m³/s**, soit 122 m³/s.
- Méthode du Gratex (C = 2,73) : **228,34 m³/s**, soit 230 m³/s.
- Méthode de l'ASEER (C = 2) : **167,27 m³/s**, soit 168 m³/s.

Le détail des calculs est joint dans le *Tableau 42*.

La crue centennale adoptée a été prise égale au maximum de la valeur obtenue par les trois méthodes.

Donc, la crue centennale retenue est de **230 m³/s** et correspond à la crue de projet.

5.2.3. Résultats comparatifs des études hydrologiques

Le *Tableau 17* présente les résultats comparatifs des études hydrologiques de l'APD et de la réévaluation.

Tableau 17: Comparaison des résultats des études hydrologiques

	DÉSIGNATION	UNITÉ	DOSSIER APD	ACTUALISATION
Caractéristiques morphologiques	Superficie S	km ²	156,84	162,96
	Périmètre	km	59,41	62
	Classe d'infiltrabilité		RI	RI
	Forme du bassin versant		-	Arrondi
	Pluie journalière centennale	mm	-	114,17
	Pluie journalière décennale	mm	85,5	84,89
	Pluie annuelle décennale	mm	834	983,64
	Pluie moyenne annuelle décennale	mm	688	793,78
	Coefficient de ruissèlement décennal			
	Indice de compacité		1,34	1,37
	Longueur du rectangle équivalent	km	22,84	24,29
	Pente transversale	m/km	-	0,49
	Indice global de pente	m/km	0,92	0,91
	Indice global de pente corrigé	m/km	-	6,90
	Densité spécifique	m/km	0,9	0,54
	Crue décennale	m ³ /s	30	84
	Crue centennale	m ³ /s	150	230

5.2.4. Analyse et discussion des résultats de la comparaison des études hydrologiques

Les résultats de la réévaluation sont différents de ceux de l'APD. Les raisons suivantes expliquent ces différences :

Au niveau de la **morphologie du bassin versant** les résultats de l'APD ont été basés sur les paramètres relevant du régime sahélien. Ce choix n'a pas été justifié par l'APD. Ceux de l'actualisation ont été basés sur le régime tropical sec car le village de Lindi dont le climat est à l'image de celui de la province d'Oubritenga est de type tropical (PCD Ziniaré, 2009) . Parmi ces paramètres nous pouvons citer ceux entrant dans le calcul du coefficient de ruissèlement décennal et du temps de base (Confère le Tableau 42 en annexes). De plus, la différence entre l'indice globale de pente et la pente transversale a été estimée à 46,15% par les études d'actualisation. On constate que cette différence est supérieure à 20%. D'où la nécessité de corriger l'indice global de pente (CIEH et al., 1996). Cette correction de l'indice global de pente n'a pas été prise en compte par l'APD (voir le détail dans le Tableau 42 en annexes).

Au niveau **des études pluviométriques** les résultats de l'APD ont été basés sur les pluies relevant de Boussé tandis que ceux de la réévaluation ont été basés sur les pluies relevant de la

station synoptique d'Ouagadougou. La source et le choix des données relevant de Boussé n'ont pas été justifiés par l'APD. De plus, le nombre d'échantillons et la chronique des séries de données ayant servi à ajuster les quantiles n'ont pas été justifiés par l'APD.

Au niveau de **l'estimation des débits de crue**, la différence est liée au changement des paramètres morphologiques qui entre en jeu dans le calcul du débit.

Au vue des raisons citées plus haut, nous proposons que les valeurs suivantes soient retenues comme les nouvelles données hydrologiques de l'APD.

Tableau 18: Résultats des données hydrologiques actualisées

DÉSIGNATION	UNITÉ	DOSSIER APD	ACTUALISATION
Indice global de pente	m/km	0,92	6,90
Pluie journalière centennale	mm	-	114,17
Pluie journalière décennale	mm	85,5	84,89
Pluie annuelle décennale	mm	834	983,64
Pluie moyenne annuelle décennale	mm	688	793,78
Débit de crue décennale	m ³ /s	30	84
Débit de crue centennale	m ³ /s	160	230

5.2.5. Prédétermination de la crue de projet

La crue de projet est celle qui servira de dimensionnement à notre ouvrage. Elle doit être évacuée sans entraîner de dommage sur l'ouvrage, ni en aval dans la rivière.

Elle a trait donc à la sécurité et à l'économie.

G. DEGOUTTE, a recommandé les périodes de retour des crues en fonction du paramètre $H^2\sqrt{V}$ conformément au tableau suivant.

Tableau 19: Critères de choix des périodes de retour des crues de projet

$H^2(m)\sqrt{V(hm^3)}$	< 5	5-30	30-100	100-700	> 700
Période de retour (ans)	100	500	1 000	5 000	10 000

Avec H = hauteur du barrage et V = volume maximale de la retenue. Pour le barrage de Lindi $H^2\sqrt{V}$ a été estimé à 46,10 ($V_{max} = 3,4 \text{ hm}^3$, $H = 5 \text{ m}$). Donc la crue 1000 ans est recommandée. Cependant pour des raisons économiques la crue centennale définie plus haut a été retenue comme crue de projet.

Donc la **crue de projet** retenue est de **230 m³/s**.

5.3. Etudes actualisées de la cuvette

Ces études ont porté sur l'évaluation du volume de la retenue, des besoins en eau, des pertes d'eau et des apports liquides sur le bassin versant. Aussi, la simulation de l'utilisation de la retenue a été réalisée.

5.3.1. Evaluation des besoins en eau

➤ Besoins agricoles

L'oignon a été retenu comme la spéculacion de contre saison. Ce choix se justifie d'une part par la nature des sols existants dans le bas-fond, qui sont aptes à cette spéculacion (CETECH CONSULT, 2014). D'autre part par sa forte valeur ajoutée et la préférence des bénéficiaires pour cette spéculacion selon notre enquête terrain. Novembre a été retenu comme le mois de début de la campagne maraichère. Cela permet de prendre en compte le temps de préparation des champs juste après la campagne hivernale.

Les **besoins bruts totaux** pour l'irrigation ont été estimés à **261 250 m³**. Ceux **du mois de pointe** (janvier) ont été estimés à **59 625 m³/ha** correspondant à un débit d'équipement de **3,45 l/s/ha**. Le détail des calculs est joint dans le Tableau 43.

➤ Besoins pastoraux

La durée de vie du barrage ayant été estimée à 50 ans, les besoins en eau pastoraux s'élèveront à **1 081 000 m³ au bout de 50 ans** c'est-à-dire en 2067. Le détail des calculs est joint dans le Tableau 44 en annexes.

5.3.2. Evaluation des pertes

Les pertes d'eau au niveau de la cuvette regroupent les pertes par infiltration, les pertes par évaporation et les pertes par dépôts solides.

➤ Pertes par infiltration

Les pertes par infiltration ont été estimées à **730 mm/an** soit **7 300 m³/ha/an** (Confère Tableau 46 en annexes).

➤ Pertes par évaporation au niveau du plan d'eau

L'évaporation **minimale** observée au cours du mois **d'Août** a été estimée à **1 445 m³/ha** (Confère Tableau 45).

La **maximale** observée au cours du mois de **mars** a été estimée à **2 424 m³/ha**.

➤ Dépôts solides

Les dépôts solides ont été estimés à partir de deux formules et les résultats obtenus se présentent comme suit :

- Grésillon : **23 955 m³/an.**
- Gottschalk : **24 597 m³/an,** soit 24 600 m³/an.

La formule de Gottschalk étant plus pessimiste, la valeur fournie par cette méthode de calcul a été retenue pour l'estimation des dépôts solides. Donc, les **pertes par dépôts** ont été estimées à **24 600 m³/an.** Le détail des calculs est joint dans le *Tableau 47* en annexes.

5.3.3. Etudes des apports

Ces études ont porté sur les apports liquides susceptibles d'arriver à l'exutoire du barrage de Lindi. Le détail des calculs est joint dans le *Tableau 48*. Les résultats de calcul se présentent comme suit :

Tableau 20 : Estimation des apports liquides

DÉSIGNATION	UNITÉ	ACTUALISATION
Bassin type	-	Kamboinsé
Coefficient d'écoulement en année décennale sèche	%	0,79
Apport en année décennale sèche	m ³	752 832
Coefficient d'écoulement en année quinquennale sèche	%	1,35
Apport en année quinquennale sèche	m ³	1 411 560
Coefficient d'écoulement en année médiane	%	2,90
Apport en année médiane	m ³	3 607 320
Coefficient d'écoulement en année décennale humide	%	6,61
Apport en année décennale humide	m ³	10 194 600
Coefficient d'écoulement en année quinquennale humide	%	5,44
Apport en année quinquennale humide	m ³	7 842 000

5.3.4. Volume de la cuvette

Les études relatives à la retenue ont concerné la détermination du volume de la retenue ainsi que la surface du plan d'eau à partir des fonds topographiques (Confère annexe V). Ces fonds ont permis de déterminer les surfaces des plans d'eau ainsi que les volumes correspondant à chaque courbe de niveau. Pour le détail des calculs se référer au *Tableau 49* en annexes. Les résultats obtenus se présentent dans le *Tableau 21* ci-dessous.

Tableau 21 : Estimation du volume de la retenue

Côte (m)	Superficie (m ²)	Volume cumulé (m ³)
304,43	-	-
305	103 613	29 530
305,5	341 976	140 927
306	739 104	411 197
306,5	968 321	838 054
307	1 441 741	1 440 569
307,5	1 993 913	2 299 483
308	2 613 613	3 451 364

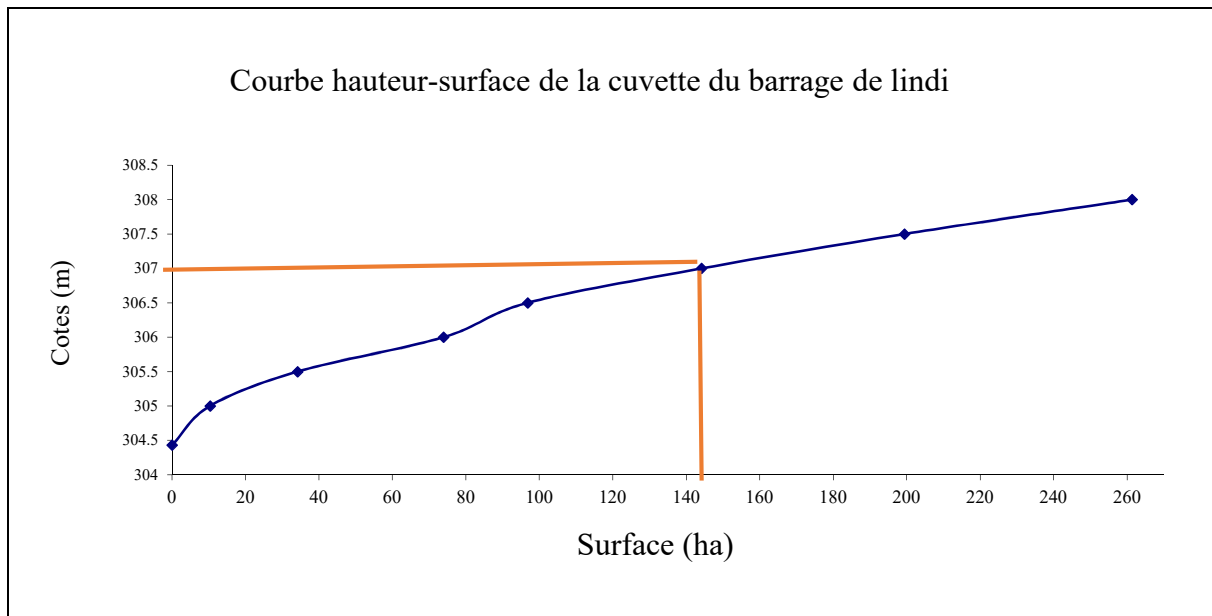


Figure 5 : Courbe hauteur-surface

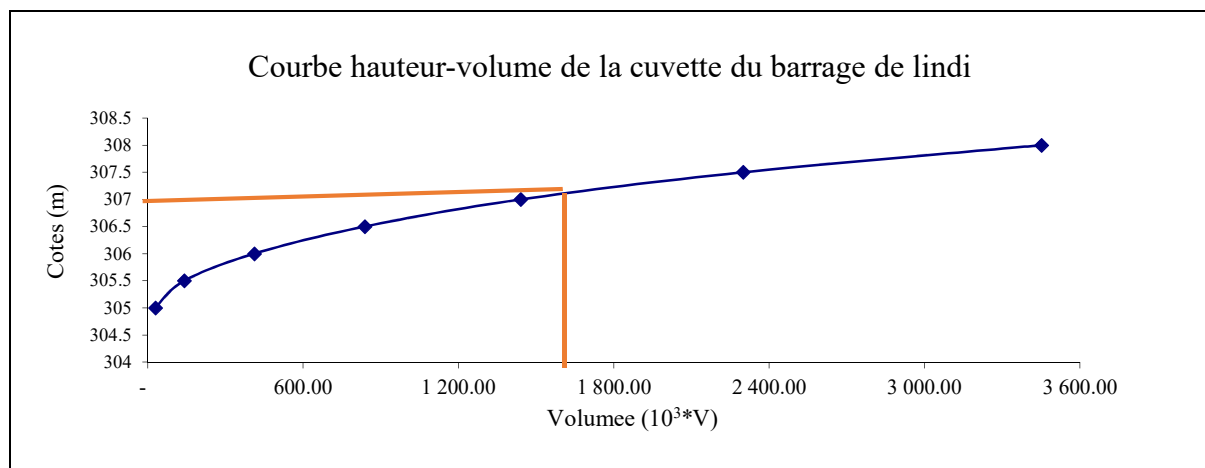


Figure 6: Courbes H(S) et H(V) du barrage de Lindi

5.3.5. Résultats comparatifs des études de la cuvette

Les résultats de la réévaluation des études de la cuvette comparés à ceux APD sont consignés dans le *Tableau 22*.

Tableau 22: Comparaison des résultats des études de la cuvette

	DÉSIGNATION	UNITÉ	DOSSIER APD	ACTUALISATION
Apports liquides	Bassin type de Rodier	-	Kamboinsé	Kamboinsé
	Coefficient d'écoulement en année décennale sèche	%	0,83	0,79
	Apport en année décennale sèche	m ³	752 822	752 832
	Coefficient d'écoulement en année quinquennale sèche	%	1,35	1,35
	Apport en année quinquennale sèche	m ³	1 254 720	1 411 560
	Coefficient d'écoulement en année médiane	%	3,2	2,90
	Apport en année médiane	m ³	3 450 480	3 607 320
	Coefficient d'écoulement en année décennale humide	%	-	6,61
	Apport en année décennale humide)	m ³	-	10 194 600
	Coefficient d'écoulement en année quinquennale humide	%	-	5,44
	Apport en année quinquennale humide	m ³	-	7 842 000
	Pertes	Apports solides par Grésillon	m ³ /an	90 280
Apports solides par Gottschalk		m ³ /an	24 597	24 597
Evaporation maximale du plan d'eau		mm/jr	-	7,82
Evaporation minimale du plan d'eau		mm/jr	-	4,66
Pertes par infiltration		mm/an	730	730

5.3.6. Analyse et discussion des résultats de la comparaison des études de la cuvette

Au niveau de l'évaluation des apports liquides, les coefficients d'écoulement obtenus à partir de la réévaluation sont de même ordre de grandeur que ceux de l'étude de base pour les années décennales sèches, quinquennales sèches et médianes.

Au niveau de l'évaluation des apports solides les résultats du calcul par la formule de Grésillon de la réévaluation (23 955 m³/an) sont très différents de ceux de l'étude de base (90 280 m³/an). Cette différence provient d'une erreur constatée au niveau de l'application numérique de la formule (32 813 m³/an au lieu de 90 280 m³/an). A cela s'ajoute l'actualisation de la pluie moyenne annuelle entrant dans le calcul.

Au vue de ces raisons, nous proposons que les valeurs suivantes soient retenues comme les nouvelles valeurs de l'APD.

Tableau 23: Résultats de l'étude de la cuvette actualisée

	DÉSIGNATION	UNITÉ	DOSSIER APD	VALEUR ACTUALISEE
Apports	Apport en année décennale sèche	m ³	752 822	752 832
	Apport en année quinquennale sèche	m ³	1 254 720	1 411 560
	Apport en année médiane	m ³	3 450 480	3 607 320
	Apport en année décennale humide	m ³	-	10 194 600
	Apport en année quinquennale humide	m ³	-	7 842 000
Pertes	Apports solides par Gottschalk	m ³ /an	24 597	24 600
	Evaporation maximale au niveau du plan d'eau	mm/jr	-	7,82
	Pertes par infiltration	mm/an	730	730

5.4. Dimensionnement actualisé de la digue

5.4.1. Caractéristiques géométriques de la digue

Ces études ont porté d'une part sur les calages de l'axe de la digue, du plan d'eau normal et du plan des plus hautes eaux. D'autre part, sur l'estimation des dimensions géométriques (largeur en crête, longueur totale, pente des talus) de la digue et sur le dimensionnement du système de sécurité (filtres, protection des talus).

➤ Côte crête et hauteur

Le barrage en **terre homogène** est le type retenu. Prenant en compte la revanche sur le plan des plus hautes eaux (PHE), la crête de la digue a été calée à la côte **308,5m** avec une **hauteur maximale** sur le lit mineur de **5 m** et une hauteur maximale de 8,5 m sur la fondation.

A cette côte, la **superficie du PHE** a été estimée à **261,36 km²** correspondant à un **volume de 3 451 365 m³**.

Le plan d'eau normal (**PEN**) a été calé à la côte **307 m**. Sa **superficie** alors été estimée à **144,17 km²** correspondant à un **volume de 1 440 570 m³**.

Ainsi la **hauteur totale de la digue** au droit du lit mineur a été estimée à **5 mètre** (Confère Tableau 60 en annexes).

➤ **Largeur en crête**

La **largeur en crête** a été estimée à **3,5 m**. Cette valeur est suffisante pour faciliter le passage des engins (Confère Tableau 60 en annexes pour le détail des calculs).

➤ **Pente des talus**

Les **pentés des talus amont** ont été déterminées en fonction du type et de la hauteur de barrage (Moussa LO, 2016).

Pour le cas de Lindi le barrage en terre homogène avec une hauteur de 5 mètre a été retenu. Donc en se référant au cours cité plus haut les **pentés des talus** ont été prises chacune égale **1V/2H**.

➤ **Épaisseur de protection du talus amont**

L'épaisseur minimum de la couche d'enrochement sur le talus amont a été estimée à partir de deux formules. Le détail des calculs est joint dans le Tableau 50 et les résultats se présentent comme suit :

- Tennessee Valley Authority : **e = 43,47 cm**
- Abaque USA Army Corps of Engineer : **e = 45 cm**

L'épaisseur minimale adoptée a été estimée à **45 cm**.

Le **volume de l'enrochement** a été estimé à **1 158 m³** (Confère Tableau 59 en annexes).

➤ **Filtres et drains**

Il s'agit de déterminer les caractéristiques des filtres horizontal et vertical du point de vue nature des matériaux et des dimensions géométriques.

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

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

Filtre horizontal

- **Débit de fuite**

Les débits de fuite proviennent du corps de la digue et de la fondation.

Les **débits de fuite provenant du corps** de la digue sont négligeables parce que les matériaux utilisés et le compactage entraînent des perméabilités faibles.

Les analyses au laboratoire sur le matériau compacté ont donné une **perméabilité de 10^{-7} m/s**.

La **perméabilité du tapis filtrant (K_f)** peut être estimée à partir de la formule de Hazen : K_f (m/s) = D_{10}^2 (cm). Les insuffisances constatées dans les rapports géotechniques n'ont pas permis de fournir le D_{10}^2 .

Mais pour des besoins de calcul et au vue de la description du sable existant (sable fin) la perméabilité a été prise égale à **10^{-5} m/s** (DIENG, 2007).

On constate donc que la perméabilité du tapis filtrant est de l'ordre de 100 fois la perméabilité des matériaux du corps de la digue. On peut alors dire que l'essentiel des eaux qui seront drainées par le tapis filtrant proviennent de la fondation.

Le **débit de fuite à travers la fondation** a été estimé à partir du profil de plus grande hauteur dans le lit mineur (P22) correspondant à un **débit spécifique $64,31 \cdot 10^{-8}$ m³/s/ml**. Soit pour toute la longueur de la digue (1610 m) un **débit total de $10,35 \cdot 10^{-4}$ m³/s**.

La charge de l'eau n'étant pas uniforme en tout point et le sol étant hétérogène le débit réel pourrait être plus faible ou on pourrait avoir des fuites préférentielles plus importantes.

- **Epaisseur**

La largeur du filtre a été prise égale au tiers de la largeur en base de la digue. Pour le profil considéré, la **largeur a été estimée à 7 m**. L'épaisseur du **tapis filtrant** pour le même profil a été estimée à **32 cm**. Il a été retenu **une épaisseur de 50 cm** pour le tapis filtrant pour prendre en compte les dispositions constructives et la pollution d'une frange du filtre dans les interfaces avec les argiles du remblai et de la fondation.

Le **volume total du filtre** a été estimé à **$1\ 105\ m^3$** (Confère *Tableau 47* en annexes).

Filtre vertical

Son **épaisseur** a été estimée à **50 cm** et il a été placé un peu en aval de l'axe de la digue. Sa hauteur a été fixée par rapport au plan d'eau normal (Maurice DURAND et al., 1998).

Le volume total du filtre a été estimé à **$240\ m^3$** (Confère *Tableau 64* en annexes).

Le volume de la digue a été estimé à 22 200 m³ (Confère Tableau 63 en annexes).

5.4.2. Simulation de l'utilisation de la retenue

La simulation a été faite au pas mensuel en prenant en compte les pertes, les besoins agricoles et les besoins pastoraux.

Deux cas de figures ont été envisagés à savoir la simulation en année décennale sèche (cas le plus défavorable) et celle en année normale.

En année **décennale sèche**, la superficie totale exploitable a été estimée à **4 ha**. Cette simulation a été réalisée sans la prise en compte des besoins pastoraux (Confère Tableau 54 en annexes).

En **année normale** une **première simulation a été faite sans la prise en compte des besoins pastoraux** et a permis d'estimer la **superficie totale exploitable a été estimée à 34,5 ha** (Confère Tableau 55).

La **seconde simulation** a été réalisée **en prenant en compte les besoins pastoraux**. Elle a permis d'estimer la **superficie totale exploitable à 7 ha** (Confère Tableau 56 en annexes).

La coupe en travers de la digue avec les filtres est présentée par la *Figure 7*.

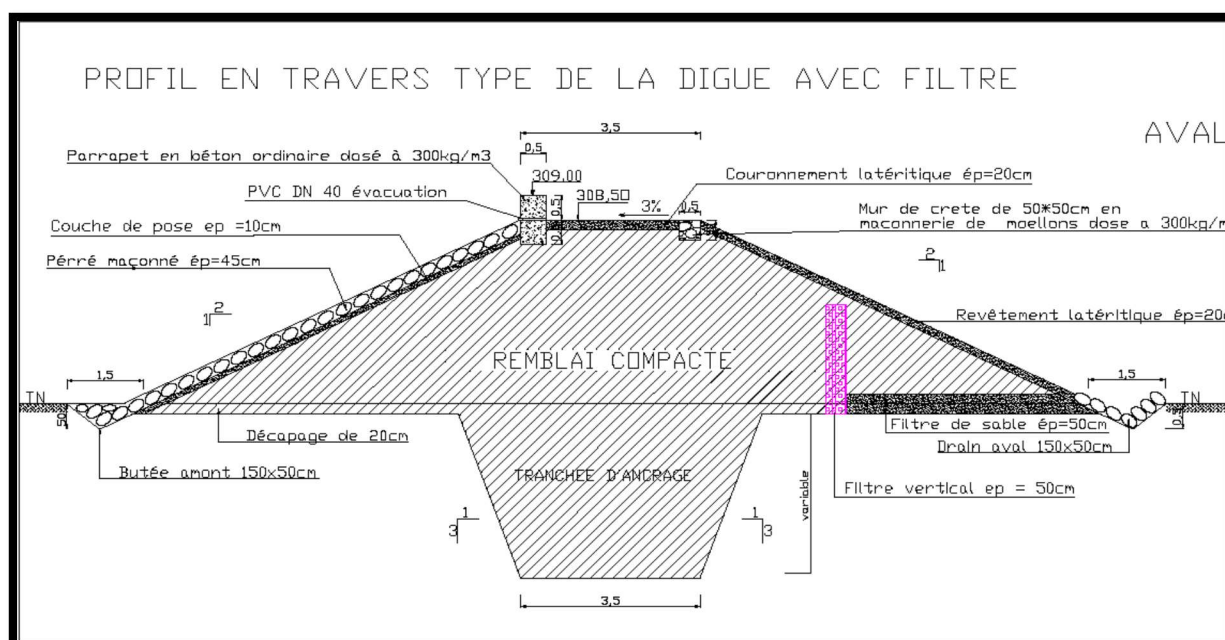


Figure 7 : Coupe en travers de la digue avec les filtres

5.4.3. Résultats comparatifs du dimensionnement de la digue

Les résultats obtenus à l'issue de la réévaluation comparés à ceux de l'APD sont présentés dans le Tableau 24.

Tableau 24: Comparaison des résultats de dimensionnement de la digue

	DÉSIGNATION	UNITÉ	DOSSIER APD	ACTUALISATION
Dimensions de la digue	Type		En terre (azone à noyau étanche en argile)	En terre homogène
	Côte du plan des plus hautes eaux	m	307,5	308
	Côte du plan d'eau normal	m	307	307
	Surface du plan d'eau normal	ha	126,59	144,17
	Surface du plan des plus hautes eaux	ha	181,91	261,36
	Volume du plan d'eau normal	m ³	1 243 170	1 440 570
	Volume du plan des plus hautes eaux	m ³	2 014 442	3 451 365
	Largeur en crête	m	3,5	3,5
	Pente du talus amont = pente du talus aval	H/V	2/1	2/1
	Longueur totale (y compris déversoir)	m	1 200	1 610
	Hauteur maximale par rapport au TN	m	4	5
	Volume du remblai	m ³	26 760	22 200
Stabilité	1. Protection			
	Talus amont		Perré maçonné	Perré maçonné
	Talus aval		Perré sec	Perré sec
	Epaisseur d'enrochement de la protection du talus amont	m	0,30	0,45
	2. Filtre horizontal			
	Epaisseur minimale	m	0,40	0,50
	Largeur maximale	m	-	7
	Volume	m ³		1 105
	Longueur du filtre horizontal	m	-	590
	3. Filtre vertical			
	Epaisseur	m	0,5	0,5
	Longueur	m	-	266
	Volume	m ³		240
	4. Tranchée d'ancrage			
	Longueur totale	m		1610
Pente du talus amont = pente du talus aval	H/V	1/3	1/3	
Largeur au plafond	m	3,5	3,5	
Volume du remblai	m ³		11 230	

5.4.4. Analyse et discussion des résultats de comparaison de dimensionnement de la digue

Les résultats de la réévaluation sont différents de ceux de l'APD.

Les raisons suivantes expliquent ces différences :

Au niveau type de digue, les études APD ont identifié du matériau dispersif à forte perméabilité conduisant alors l'APD à proposer une zone à noyau central. Or les études géotechniques complémentaires réalisées par l'actualisation ont permis d'identifier du matériau à faible perméabilité dont la quantité a été estimée à plus de 80 000 m³. Ce matériau est deux fois suffisant pour couvrir les **besoins (33 450 m³) de la digue homogène** qui a été proposée par les études d'actualisation.

Au niveau du positionnement de l'axe de la digue, au vue la configuration topographique du terrain nous avons proposé de décaler l'axe de 40 m en aval de l'ancien axe qui a été proposé par les études APD. Ce choix vise à augmenter la capacité de stockage de la retenue tout en maintenant la même côte de calage qui a été proposée par les études APD. Pour cette nouvelle position, le **volume du barrage au PEN est passé de 1 243 170 m³ à 1 440 560 m³**. Celui du **PHE est passé de 2 014 442 m³ à 3 451 365 m³**.

De plus en comparant le volume des apports liquides en année normale (3 607 320 m³) au volume du PEN aux on constate qu'il représente 2,5 fois le volume au PEN. Donc le barrage **se remplira à 100%**.

Par contre en année **décennale sèche les apports** ont été estimés à **752 832 m³** entraînant un **taux de remplissage de 52,30%**.

Au niveau de la protection du talus amont, l'épaisseur de 30 cm proposée par les études APD n'a pas été justifiée et cette valeur nous semble insuffisante pour lutter contre l'effet de batillage au vue de nos résultats de calcul. En effet, nous avons utilisé plusieurs formules pour estimer cette épaisseur et les résultats donnent une épaisseur minimale de 45 cm.

Au niveau du filtre horizontal, l'épaisseur de 40 cm proposé par les études APD nous convient mais nous l'avons ramenée à 50 cm par mesure de sécurité. Par contre la position et la largeur du filtre n'ont pas été définies dans l'APD.

Aussi, le filtre ne doit ni se dégrader par entrainement des éléments, ni se colmater. Il est conseillé pour cela d'utiliser des sables dont le coefficient d'uniformité est supérieur à 2 (Laurent COMPAORE, 1996). Les études géotechniques indiquent que les sables identifiés ont un coefficient **d'uniformité égal à 1,8** (ACIT Géotechnique, 2016) proche de 2. Ces sables peuvent être utilisés pour la construction du tapis filtrant.

Au niveau de la tranchée d'ancrage, les profondeurs de la nouvelle digue ont été calées sur les résultats des études géotechniques de l'APD. Ces calages pourront être réajustés à l'ouverture de la tranchée en fonction de la nature des terrains traversés.

Au niveau de la simulation de la retenue, la capacité de stockage de la retenue est en deçà des prévisions du projet (25 ha). En effet, les simulations faites en année quinquennale sèche et en année normale donnent respectivement des superficies totales exploitables de 4 ha et 8 ha (inférieurs à 25 ha). Par contre sans la prise en compte des besoins pastoraux en année normale la superficie totale exploitable a été estimée 36 ha soit 10 ha supplémentaires.

Dans l'optique d'assurer la durabilité des investissements, il est souhaitable pour le projet d'associer au futur barrage des ouvrages de mobilisations d'eau souterraine en occurrence les puits. Ces puits viendront en complément aux insuffisances d'eau au niveau du barrage en année sèche et compléter les besoins en eau pastoraux.

Au niveau des dépôts solides, on constate qu'au **bout de 50 ans** ces dépôts atteindront **1 230 000 m³** soit près de 85,38% du volume normale de la retenue (Confère *Tableau 52*).

Pour cela, la réalisation d'ouvrages de préventions contre l'ensablement s'avère nécessaire en vu d'assurer la durabilité de l'ouvrage, vu que celui-ci est de petite capacité. Parmi ces ouvrages on peut citer par exemple les **digues filtrantes** que l'on peut réaliser au niveau des affluents de la cuvette afin de retenir les sédiments avant leur entrée dans la cuvette.

Au vu de ces résultats, nous proposons que les valeurs suivantes soient retenues comme les nouvelles valeurs de l'APD.

Tableau 25: Résultats du dimensionnement de la digue actualisé

DÉSIGNATION	UNITÉ	DOSSIER APD	VALEUR ACTUALISEE
Type de barrage		En terre (azone à noyau étanche en argile)	Terre (homogène)
Côte du plan des plus hautes eaux (Z_{PHE})	m	307,5	308
Surface du plan d'eau normal (S_{PEN})	ha	126,59	144,17
Surface du plan des plus hautes eaux (S_{PHE})	ha	181,91	261,36
Volume du plan d'eau normal (V_{PEN})	m ³	1 243 170	1 440 570
Volume du plan des plus hautes eaux (V_{PHE})	m ³	2 014 442	3 451 365
Longueur totale (y compris déversoir)	m	1 200	1 610
Hauteur maximale par rapport au TN	m	4	5
Volume du remblai de la digue	m ³	26 760	22 200
Epaisseur d'enrochement de la protection du talus amont	cm	30	45
Longueur du filtre (de P5 à P26 et de P44 à P48)	m		590
Largeur du filtre (variable)	m		Entre 3,34 m et 7 m
Volume du remblai de la tranchée d'ancrage	m ³		11 230

5.5. Dimensionnement actualisé de l'évacuateur de crue et ouvrages annexes

Ces études ont porté sur la détermination des caractéristiques du déversoir, du bassin de dissipation et de l'ouvrage de prise.

5.5.1. Evacuateur de crue

Les règles et la pratique actuelles de dimensionnement des évacuateurs exigent d'une part de définir, une crue de projet qui doit être évacuée sans aucun dommage ni sur l'ouvrage, ni en aval. D'autre part, de définir une crue de sécurité dont l'évacuation peut entraîner des dégâts sur l'ouvrage sans pour autant entraîner la rupture du barrage ni arrêter son fonctionnement.

➤ Crues de dimensionnement

• Débit de projet

Le débit de dimensionnement a été estimé à **230 m³/s** non laminé correspond à la crue centennale donnée par la méthode du Gratex.

• Débit de sécurité

La crue de sécurité de la retenue a été estimée à **667,50 m³/s** à la côte de couronnement de la digue et à **1027 m³/s** à la côte du mur parapet (Confère

Tableau 73 en annexes).

➤ **Choix du type d'évacuateur de crue**

• **Conditions topographiques**

La topographie du site a permis de prévoir un ouvrage central et un aménagement en rive gauche en profitant du chenal naturel qui existe pour évacuer les crues.

• **Conditions financières**

Le projet connaît déjà des dépassements budgétaires, qu'il convient donc de limiter. Il s'agit là d'une contrainte à prendre en compte dans le choix et le dimensionnement de l'évacuateur de crue. Sur la base de ces conditions, il a été proposé de mettre en place :

🏗 Un déversoir voile ou un déversoir en radier submersible

🏗 Un mur parapet pour accroître la revanche pour la crue de projet et la valeur de la crue de sécurité qui pourrait entraîner la ruine de l'ouvrage.

➤ **Dimensionnement**

• **Déversoir poids**

🏗 **Dimensions géométriques**

Ces études ont porté sur un prédimensionnement du déversoir et la détermination de la longueur déversante (Confère Tableau 67 en annexes).

Les résultats obtenus se présentent comme suit :

Tableau 26 : Caractéristiques géométriques de déversoir poids.

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
Type de barrage		Mur déversant
Lame d'eau déversante	m	1
Longueur déversante	m	110
Hauteur du seuil	m	2,69
Largeur en crête	m	0,4
Largeur en base	m	2,5
Épaisseur de la parafouille rectangulaire	m	1,2
Épaisseur de la parafouille amont	m	2,5
Grande base de l'assise trapézoïdale	m	1,8
Petite base de l'assise trapézoïdale	m	0,6

🏗 **Stabilité du déversoir poids**

Le tableau suivant présente les résultats de l'étude de la stabilité du déversoir poids (Le détail des calculs est joint dans le Tableau 70 en annexes).

Tableau 27 : Résultats d'étude de la stabilité du déversoir poids

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
Stabilité au renversement		
Somme des moments renversants	kN.m	100,42
Somme des moments stabilisant	kN.m	590,10
Coefficient de sécurité au renversement		5,88 > 1,5
Stabilité au glissement		
Résultante des forces horizontales	kN/ml	51,40
Résultante des forces verticales	kN/ml	154,89
Coefficient de sécurité au renversement		
Règle du tiers central		
Excentricité	m	0,48
M/N	m	0,44 < 0,48
Stabilité au poinçonnement		
Capacité portant du sol	kN/m ²	357,77
Contrainte maximale imposée	kN/ml	90,67
Coefficient de sécurité au poinçonnement		3,95 > 1,5

Bajoyers

- Caractéristiques géométriques du bajoyer

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

Les résultats de calcul des caractéristiques des bajoyers se présentent comme suit (Confère le Tableau 65 pour le détail des calculs).

Tableau 28 : Caractéristiques géométriques des bajoyers

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
Hauteur maximale du bajoyer	m	5,20
Epaisseur du mur à la base bajoyer	m	0,45
Epaisseur crête du bajoyer	m	0,20
Epaisseur de la semelle	m	0,45
Largeur base du mur bajoyer	m	4,25
Hauteur mur bajoyer au-dessus de la semelle	m	4,69

- Stabilité du bajoyer

Le tableau suivant présente les résultats de l'étude de la stabilité du déversoir poids.

Le détail des calculs est joint dans le Tableau 66 en annexes.

Tableau 29 : Etude de la stabilité du bajoyer

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
Stabilité au renversement		
Somme des moments renversants	kN.m	126,09
Somme des moments stabilisants	kN.m	1218,32
Coefficient de sécurité au renversement		9,66 > 1,5
Stabilité au glissement		
Résultante des forces horizontales	kN/ml	80,65
Résultante des forces verticales	kN/ml	475,79
Coefficient de sécurité au renversement		1,77 > 1,5
Règle du tiers central		
Excentricité	m	0,74
M/N	m	0,68 < 0,74

- **Evacuateur de crue en radier submersible**

Il est constitué de :

- Deux de rampes d'accès de 15 mètres de long chacune avec une pente de 10%,
- Un palier de 205 m de long (soit 50 dalles de 35 cm d'épaisseur, 5,20 m de long et 3,10 m de large chacune). Le détail des calculs est joint dans le Tableau 72.
- L'amont est protégé par du perré maçonné d'épaisseur 45 cm,
- Un coursier constitué de dalles d'épaisseur 20 cm s'appuyer sur des bèches de pied sur des poutres transversales et sur des poutres de crête.

Il a été calé à la côte 307 m correspondant à un volume de 1 440 570 m³ et à une superficie du plan d'eau égale à 144,17 ha.

La charge admissible a été estimée à 65 cm. Ce choix vise à assurer la sécurité des populations en période de crue. Le détail des calculs est joint dans le *Tableau 68* en annexes.

Au regard de ce qui précède, il a été proposé de retenir le type radier submersible. Ce choix se justifie par le fait que ce déversoir permet le désenclavement du village.

La *Figure 8* présente une vue en plan du déversoir.

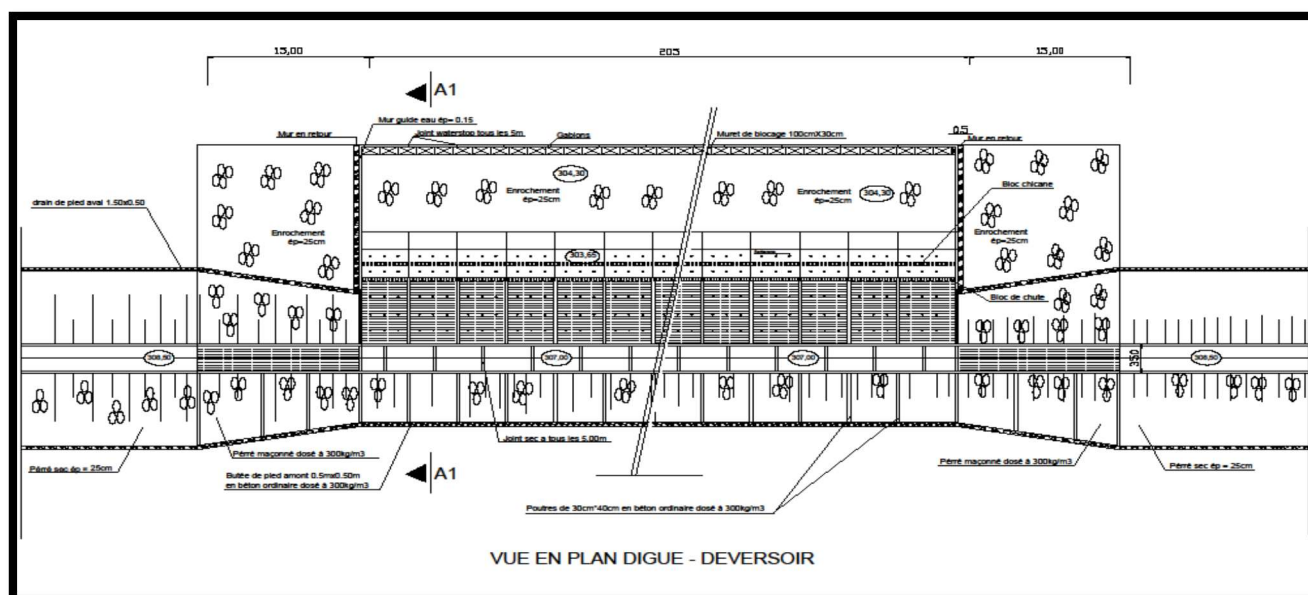


Figure 8 : Vue en plan du radier submersible

5.5.2. Bassin de dissipation

Le nombre Froude a été estimé à 8,12 et la vitesse à l'entrée du bassin à 6 m/s donc le bassin de **type II** est le type de bassin retenu (Maurice DURAND et al., 1998).

Le détail des calculs est joint dans le Tableau 74.

Ce type de bassin est constitué de blocs de chute, de blocs chicanes et de seuil terminal.

Le détail des calculs est joint dans le Tableau 75.

Les caractéristiques géométriques définies par les résultats de calcul se présentent comme suit :

Tableau 30 : Caractéristiques géométriques du bassin de dissipation

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
Longueur du bassin	m	2,5
Nombre de blocs chutes	u	512
Espacement entre blocs chutes	m	0,20
Hauteur des blocs chute	m	0,2
Longueur des blocs chute	m	0,4
Nombre de blocs chicanes	u	179
Espacement entre blocs chicanes	m	0,25
Hauteur des blocs chicanes	m	0.35
Largeur des blocs chicanes	m	0,25
Hauteur du seuil terminal par rapport TN	m	0,35
Epaisseur de l'enrochement de protection aval	m	0,30
Longueur de protection aval du bassin	m	10

La Figure 9 présente une vue en plan du bassin de dissipation.

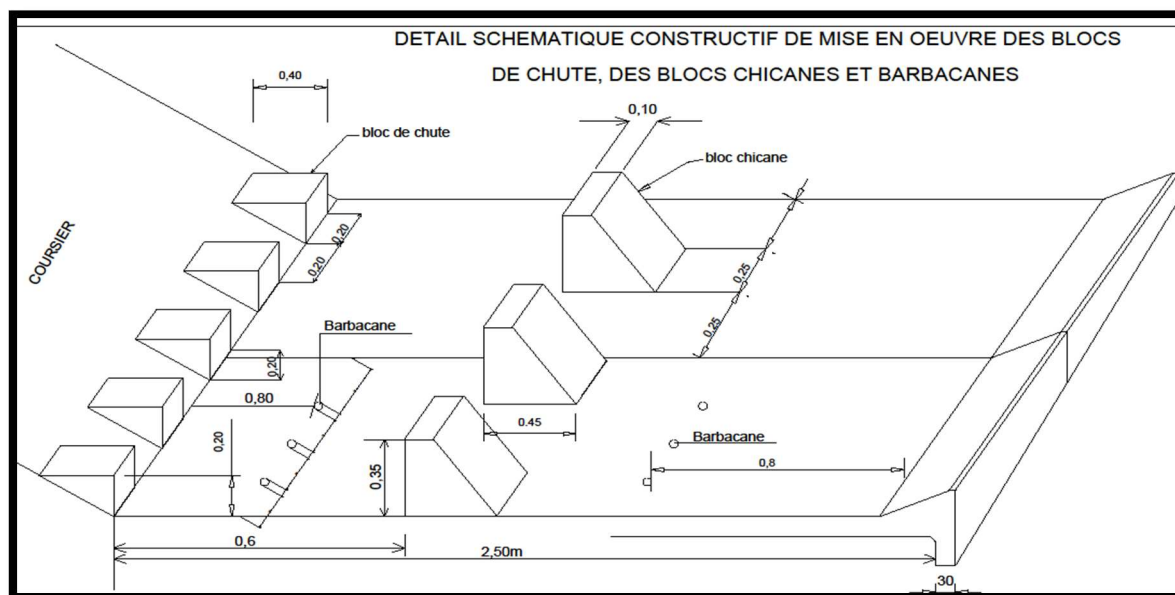


Figure 9 : Vue en plan du bassin de dissipation

5.5.3. Ouvrage de prise et de vidange

➤ Fonctions et choix

Comme son nom l'indique il assure deux fonctions. Il sert dans un premier temps à l'irrigation du périmètre à l'aval du barrage puis à assurer une vidange en cas de besoins.

➤ Nombre et positionnement

Il a été retenu un seul ouvrage de prise et de vidange placé en rive gauche au profil P21.

Il a été calé en fonction des terrains à dominer et en fonction de la nécessité d'avoir une charge suffisante pour assurer le débit demandé pour l'irrigation.

➤ Type d'ouvrage

Il est constitué de :

- Un **bac d'admission amont** calé à la côte **305,5 m**. L'entrée du bac est protégée par une grille,
- Un **bac aval calé** à la côte **304,78 m**. A cette côte, on dispose d'une tranche morte de **141 930 m³**.
- Une conduite en fonte ductile de **400 mm** de diamètre. Le choix de la fonte se justifie par le fait qu'il résiste plus à la corrosion. Sa longueur a été estimée à **50 m** avec une **pente de 1%** vers l'aval. Elle sera enrobée par du ordinaire de 20 cm d'épaisseur et encastrée dans le remblai de la digue. A l'entrée de la conduite est fixée une crépine et

la sortie un robinet vanne. La vanne a été isolée dans un autre regard par l'APD, nous marquons notre accord car cette disposition facilite l'entretien de celle-ci.

L'option de la vanne aval se justifie par la faible charge au droit de la prise (2,2m) et par le fait que la tour de prise a un désavantage de renchérir les coûts du projet.

➤ **Capacité**

Le débit d'équipement a été estimé à **120 l/s**.

Le **temps de vidange** du barrage a été estimé à **1 mois** à la côte 305,5 m soit 1,3 Mm³ d'eau en 1 mois. Le détail des calculs est joint dans le Tableau 76.

➤ **Ecran anti renard**

L'écran anti renard a été remplacé par des parements à section trapézoïdale. L'APD justifie ce choix par le fait que cet écran représente des points de faiblesse du à un faible taux de compactage et à causer par expérience la rupture de plusieurs barrages. Nous marquons notre accord parce cette disposition permet de mieux compacter le remblai aux voisinages de la conduite de prise.

5.5.4. Résultats comparatifs des caractéristiques du déversoir et des ouvrages annexes

Les résultats de la réévaluation comparés à ceux de l'APD dans le *Tableau 31* qui se présentent comme suit :

Tableau 31: Comparaison des caractéristiques du déversoir et des ouvrages annexes

	DÉSIGNATION	UNITÉ	DOSSIER APD	ACTUALISATION
Évacuateur de crue	Type		Voile à contreforts	Radier submersible
	Côte de calage	m	307	307
	Débit de dimensionnement	m ³ /s	150	230
	Crue de sécurité à la côte crête de la digue	m ³ /s		293
	Crue de sécurité à la côte du mur parapet	m ³ /s		451
	Longueur déversante	m	90	205
	Lame d'eau au-dessus du déversoir	m	1	0,65
Ouvrages annexes	I. BASSIN DE DISSIPATION			
	Type		Non défini	Type II
	Longueur	m	5	2,5
	Longueur du dispositif de protection aval	m	10	10
	II. OUVRAGE DE PRISE			
	Diamètre nominal (en fonte)	mm	200	400
	Longueur	m	30	50
	Côte de calage amont	m	304,92	305,5
Côte de calage aval	m	-	304,78	

5.5.5. Analyse et discussion des résultats de comparaison de dimensionnement l'évacuateur de crue et des ouvrages annexes

Les résultats de l'actualisation sont différents de ceux de l'APD. Les différences proviennent des raisons ci-après :

Au niveau du **dimensionnement du déversoir**, la crue de projet ayant été actualisée à 230 m³/s avec **une lame d'eau admissible de 0,65 m** donne une longueur **déversante de 205 m**. Par conséquent, la longueur déversante de 90 m proposée par l'APD a été estimée avec une charge d'un mètre pour un débit de 150 m³/s alors qu'il s'agit d'une digue routière. Nous estimons que cette charge proposée par l'APD ne permet pas d'assurer de la population pendant les périodes de crue.

Au niveau type de déversoir, les études de l'APD ont préconisé un **déversoir voile à contreforts** sans avoir justifié ce choix. Aussi, la stabilité de ce déversoir n'a pas été vérifiée par l'APD. Or, l'APD affirme l'inexistence de sable de bonne qualité pour le béton dans la zone du projet. Pour ce faire, le ravitaillement en sable pourrait se faire à partir d'Ouagadougou par exemple ce qui pourrait renchérir le coût et même jouer sur la qualité de l'ouvrage. Donc, la

réalisation d'un ouvrage minimisant les besoins en béton (voire en sable) et pouvant assurer le désenclavement du village s'avère nécessaire. C'est ce qui justifie le choix du **déversoir en radier submersible** qui a été proposée par les études de la réévaluation.

Au niveau de l'ouvrage de prise, pour le diamètre nominal DN 200 proposé par l'APD a une capacité maximale de **167,87 l/s** en pleine charge. Or la charge de l'eau étant variable, les simulations ont montré par exemple que le débit délivré par ce diamètre 200 au tiers de la charge (95,76 l/s) est inférieur au débit d'équipement qui a été estimé à **120 l/s**. Par conséquent le DN 200 n'a pas été retenu.

Aussi une conduite DN 300 est suffisante pour livrer le débit souhaité à l'aval. Mais le choix de la conduite **DN400 proposé par notre actualisation vise à** augmenter la capacité de vidange de l'ouvrage. Le détail est joint dans le tableau suivant.

Tableau 32 : Variation du débit en fonction de la charge

Diamètre	Q(H) l/s	Q (0,5*H) l/s	Q (H/3) l/s	Q (H/4) l/s	Temps de vidange (mois)
DN 200	165,87	117,29	95,93	82,93	4
DN 300	373,21	236,90	215,47	186,60	2
DN 400	663,48	469,15	383,15	331,74	1

Au vu de ce qui précède, nous proposons que les données suivantes soient retenues comme nouvelles valeurs de l'APD.

Tableau 33: Résultats des caractéristiques du déversoir et des ouvrages annexes actualisés

	DÉSIGNATION	UNITÉ	DOSSIER APD	ACTUALISATION
Evacuateur de crue	Type		Voile à contreforts	Radier submersible
	Côte de calage	m	307	307
	Débit de dimensionnement	m ³ /s	150	230
	lame d'eau au-dessus du déversoir	m	01	0,65
Ouvrages annexes	I. BASSIN DE DISSIPATION			
	Type		Non défini	Type II
	Longueur	m	5	2,5
	Longueur du dispositif de protection aval	m	10	10
	II. OUVRAGE DE PRISE			
	Diamètre nominal (en fonte)	mm	200	400
	Longueur	m	30	50
	Côte de calage amont	m	304,92	305,5
	Côte de calage aval	m	-	304,78

5.6. Etudes économiques actualisées

5.6.1. Devis estimatif

Les résultats des devis estimatifs relatifs aux trois types de déversoirs étudiés sont présentés dans le tableau suivant (Confère pour Tableau 77 en annexes le détail des calculs).

Tableau 34 : Devis estimatif des trois types de déversoirs

Désignation	Cout total (FCFA TTC)	Ecart par rapport au cout initial	Taux de variation (%)
Déversoir voile à contreforts + digue	792 544 326	-	
Déversoir poids + digue	789 090 494	3 453 833	-1,62
Déversoir à radier submersible + digue	779 743 817	12 800 509	-0,44

Il ressort des variations de -1,62% pour le déversoir en radier submersible et de -0,44% pour le déversoir poids par rapport aux montants initiaux des travaux. Ces variations se traduisent par des économies de + 12 800 509 pour le déversoir en radier submersible et de + 3 453 833 pour le déversoir poids.

Donc ces modifications sont bénéfiques pour le projet car elles permettent de réduire les coûts prévisionnels tout en augmentant la capacité de stockage du barrage.

5.6.2. Charges d'exploitation

Les charges d'exploitation relatives aux deux spéculations (riz et oignon) sont présentées dans le tableau suivant (Confère le Tableau 78 et le Tableau 79 en annexes pour le détail des calculs).

Tableau 35 : Estimation des charges d'exploitation

Productions	Unité	Prix unitaire (FCFA)	Superficie (ha)	Charge totale (FCFA)
Riz	Charge/ha	636 250	25	15 906 250
Oignon	Charge/ha	631 250	25	15 781 250
Total				31 687 500

5.6.3. Productions

L'estimation des productions issues de l'exploitation du périmètre irrigué se présente comme suit :

Tableau 36 : Estimation des productions

Productions	Rendement (t/ha)	Superficie (ha)	Quantité (t)	Prix unitaire (FCFA)	Vente totale (FCFA)
Riz	3,5	25	87,5	257 143	22 500 000
Oignon	20	25	500	150 000	75 000 000
Total					97 500 000

5.6.4. Bilan

La synthèse des résultats est présentée dans le tableau suivant (Confère Tableau 80 en annexes).

Tableau 37 : Bilan

Désignation	Valeur
Charges hors amortissement (FCFA)	31 687 500
Productions (FCFA)	97 500 000
Résultat (FCFA)	65 812 500
Cash-flow (FCFA)	65 812 500
Valeur ajoutée nette (VAN)	-682 812 500
Taux de rentabilité interne : TRI	4,86%
Durée de retour sur investissement (ans)	19

VI. CONCLUSION

Dans cette étude nous avons réévalué les études techniques de réalisation d'un barrage à vocation hydroagricole et pastorale au profit des populations de la commune rurale d'Ourgou-Manéga dans la région du Plateau Central au Burkina Faso.

Les études initiales ont proposé une digue à zone munie d'un déversoir voile à contreforts. La digue en terre homogène munie d'un déversoir en radier submersible est le type retenu par les études d'actualisation.

Ce barrage s'inscrit en étroite ligne avec les objectifs du développement durable en permettant de lutter contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire dans la région du Plateau Central.

En effet, il vise d'une part la satisfaction des besoins en eau d'irrigation d'appoint du riz sur 25 hectares durant la saison pluvieuse. D'autre part, il permettra la satisfaction des besoins en eau de la culture de l'oignon pendant la saison sèche.

La hauteur du barrage au droit du lit mineur a été réévaluée à 5 mètres contre 4 mètres de hauteur par les études initiales. A cette hauteur, la capacité de stockage du barrage est passée initialement de 1 243 170 m³ à 1 440 570 m³ d'eau en année normale.

Donc, l'actualisation est bénéfique pour le projet car le type d'ouvrage retenu permet une réduction de 12 800 509 francs du coût initial tout en augmentant la capacité de stockage du barrage de 200 000 m³ par rapport au volume initial. Aussi, ce type d'ouvrage (digue routière) assure le désenclavement du village.

Cependant, pour assurer la durabilité du futur ouvrage, il faudra :

- Mettre en place un comité chargé de la gestion et de l'entretien régulier de l'ouvrage,
- Réaliser des digues filtrantes sur les affluents alimentant la cuvette pour réduire les effets d'ensablement sur la cuvette.

Le coût actualisé des travaux de réalisation du barrage s'élève à sept cent soixante-dix-neuf millions sept cent quarante-trois mille huit cent dix-sept (779 743 817) francs toutes taxes comprises contre un montant initial de sept cent quatre-vingt-douze millions cinq cent quarante-quatre mille trois cent vingt-six (792 544 326) francs toutes taxes comprises. La durée de retour sur investissement est de 19 ans.

Aussi, dans un contexte de changements climatiques marqué soit par la diminution des pluies annuelles, soit par la multiplication des pluviométries de forte intensité pluviométries annuelles, le barrage de Lindi pourrait faire face aux effets négatifs de ces changements tels que le non remplissage et les ruptures compromettant ainsi la viabilité de l'ouvrage.

Pour cela, des études complémentaires de la réalisation d'un autre déversoir de sécurité s'avèrent donc nécessaire en vue de sécuriser les ouvrages.

VII. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

La réussite du projet en étroite ligne avec les objectifs du développement durable passe par la mise en œuvre de certaines actions à plusieurs niveaux.

Pour ce faire le projet devrait prendre en compte les recommandations suivantes :

- La côte des plus eaux proposée par notre étude d'actualisation est passée de la côte 307,5m à la côte 308m, donc il faut inventorier les concessions et les champs qui y seront touchés et intégrer les déguerpissements dans le plan de gestion environnemental,
- Réaliser des études géotechniques complémentaires sur l'étanchéité de la cuvette et de la fondation. En effet, il est nécessaire de prévoir des puits de sondage plus rapprochés (10 m contre 50 dans l'APD) au niveau de l'axe de la digue. Ces sondages doit être aussi profondes que la hauteur du remblai (Maurice DURAND et al., 1998).
- Réaliser des études géotechniques complémentaires sur la fondation du barrage,
- Matérialiser la limite du niveau des plus hautes eaux et celle de la bande de servitude par des bornes. Cela permettra une meilleure gestion de la retenue contre l'ensablement anthropique,
- Mettre en place des surlargeurs au niveau de la digue à des intervalles de 100 mètres afin de faciliter les dépassements sur la digue.
- Construire des puits maraichers et pastoraux,
- Mettre en place un comité de suivi et de mise en œuvre du plan de gestion environnemental,
- Fixer les barrières interdisant l'accès à l'ouvrage durant les périodes de hautes eaux,
- Construire des digues filtrantes sur les affluents alimentant la cuvette.
- Former et mettre en place un comité de gestion.

VIII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASI-BF, 2016. Etude géotechnique (Rapport des essais en laboratoire No. 02). Burkina Faso.
- Banque Mondiale, 2008. Agriculture au service du développement. Ouagadougou.
- Bruno Ambroise, 2001. La dynamique de l'eau dans le bassin versant. H*G*A, Bucarest. ed.
- CETECH CONSULT, 2014. Avant-projet détaillé des travaux de réalisation d'un barrage à vocation agricole dans le village de Lindi au Burkina Faso (APD No. 01). Burkina Faso.
- DIENG, B., 2007. Cours d'hydrogéologie et ouvrages de captage.
- Emmanuel ALONSO, Jean-Pierre BECUE, Gerard BOLLE, Jean-Luc BRODIN, 2000. Les types de barrages en remblai, in : Barrages En Remblai.
- E.R. Michalski,, D. Clerdouet, 1988. La sécurité des petits barrages : analyse des risques potentiels, propositions mesures techniques préventives.
- G. Pilot, G. Cartier, 1964. Dignes et barrages en terre de faible hauteur.
- Gérard Degoutte, 1997. PETITS BARRAGE : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Cemagref.
- Harouna KARAMBIRI, 2005a. Cour du cycle hydrologique du bassin versant.
- Harouna KARAMBIRI, 2005b. Cours de bassin versant et son complexe.
- Harouna KARAMBIRI, 2005c. Prédétermination des débits et apports
- Harouna KARAMBIRI, Ismaila GUEYE, 2006. Cour de barrage.

- INSD-MEF, 2010. Annuaire statistique de l'environnement.
- J. M DURAND, n.d. Cour de petits barrages pour l'équipement rural en AFrique.
- J. Perchat, J. Roux, n.d. BAEL 91.
- J.P LABORDE, 2000. Les éléments d'hydrologie de surface.
- Laurent COMPAORE, 1996. Cour de barrage.6
- Maurice DURAND, Paul ROYET, Patrice MERIAUX, 1998. Techniques de petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale.
- MAZOYER. M, ROUDART. L, 2002. Histoire des agriculteurs du monde : du néolithique à la crise contemporaine. Seuil, Paris.
- Moussa LO, 2016. Cour de barrage1.
- PCD Ziniaré, 2009. Plan communal de la commune de Ziniaré.
- Profil d'inégalité et de pauvreté au Burkina Faso, 1999.
- S MULTON, 2012. Eurocode II.
- SAMI Lebelle, 2007. Cour d'éléments de béton armé.
- Sylvain BETTON, 1988. La maîtrise des crues dans les bas-fonds.
- WETTA, J., KABORE, C., BONZI, B.K., SIKIROU, B.K., SAWADOGO, S., SOMPA, P.,
1999. Le profil d'inégalité et de pauvreté au Burkina Faso. Université Laval.

IX. ANNEXES

Annexe I: ENQUETES SOCIO ECONOMIQUES	I
Annexe II: NOTES DE CALCUL	VI
Annexe III: DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF	LXVI
Annexe IV : ETUDES ECONOMIQUES.....	LXXVII
Annexe V : DOSSIER DE PLAN	LXXXI

Annexe I: ENQUETES SOCIO ECONOMIQUES

I.1. Fiche de collecte

➤ Fiche de collecte pour le volet agriculture

A.01. Nom et prénoms de l'enquêté : _____

A.02. Sexe de l'Enquêté : Homme / __ / Femme / __ /

A.03. Fonction : _____

A.04. Contact : _____

B. Estimation des spéculations

B.01. Quelles sont les principales cultures céréalières dans le village de Lindi?

CULTURES	Rendement (t/ha)
Mil	
Sorgho	
Fonio	
Maïs	
Riz	
Autres.....	

B.02 Quelles sont les principales cultures de rente dans le village de Lindi ?

CULTURES	Rendement (t/ha)
Oignons bulbes	
Choux	
Tomates	
Carottes	
Pommes de terre	
Haricot vert	
Aubergine	
Autres.....	

➤ **Fiche de collecte pour le volet élevage**

A.01. Nom et prénoms de l'enquêté : _____

A.02. Sexe de l'Enquêté : Homme / __ / Femme / __ /

A.03. Fonction : _____

A.04. Contact : _____

B. Estimation du cheptel

B.01. Quelle est l'évolution du cheptel au cours des cinq (05) dernières années dans le village de Lindi ?

Cheptel	2012	2013	2014	2015	2016
Bovins					
Ovins					
Caprins					
Porcins					
Asins					
Equins					
Volailles					
Dindons					
Autres					

B.02. A combien estimez-vous le nombre d'animaux qui vont s'abreuver par jour à partir de l'eau du barrage ?

Cheptel	Nombre total s'abreuvant à la retenue par jour
Bovins	
Ovins	
Caprins	
Porcins	
Asins	
Equins	
Volailles	
Dindons	
Autres	

➤ **Fiche de collecte auprès des bénéficiaires**

A.01. Nom et prénoms de l'enquêté : _____

A.02. Sexe de l'Enquêté : Homme / ___ / Femme / ___ /

A.03. Fonction : _____

A.04. Contact : _____

B. Hydrologie

B.01. A combien de mètre estimez-vous les pluies exceptionnelles déjà enregistrées dans le village / _____ / m ? Précisez l'année / _____ /.

B.02. L'ancien barrage se remplissait chaque année ? OUI / _____ / NON / _____ /
Si NON pourquoi ? _____

B.03. Selon vous quelles sont les raisons du comblement de l'ancien barrage ?

C/ Estimation des besoins en eau

C.01. Besoins agricoles

C.01.1. Quels sont les principaux types de cultures aimeriez-vous utiliser sur le périmètre ?

Durant la saison pluvieuse _____

Durant la contre- saison _____

Pourquoi ce choix ? _____

C.01.2. Quels seront vos usages des produits issus des récoltes du périmètre aménagé ?

C.02. Besoins pastoraux

A combien estimez-vous le nombre d'animaux qui vont s'abreuver par jour à partir de l'eau du barrage ?

Bœufs / _____ / Chèvres et moutons / _____ / Anes / _____ / Autres / _____ /

C.03. Autres besoins

Quels sont les autres usages principaux auxquels sera la retenue ?

I.2. Impacts positifs et négatifs du projet

Tableau 38: Synthèse des impacts du projet

Impacts positifs sur l'environnement	Impacts négatifs sur l'environnement
<p>Intensification des productions agricoles de contre-saison et du maraîchage ; Amélioration des conditions de vie (qualité nutritionnelle) des populations de la zone du projet ; Renforcement des capacités des producteurs et de leurs structures faîtières ; Création de revenus (AGR) ; Accroissement des revenus ; Fixation des jeunes dans la zone ; Développement des AGR des femmes ; Création d'emplois (main d'œuvre locale en phase de construction et d'exploitation) ; Recharge de la nappe phréatique ; Allongement dans le temps de la disponibilité de l'eau et de l'alimentation pour le bétail ; Promotion de la pêche avec la création d'un plan d'eau et des bassins piscicoles.</p>	<p>Destruction de la flore ; Exacerbation de la concurrence dans l'utilisation de la ressource en eau de surface pour les divers besoins (activités économiques, besoins pastoraux et travaux de construction) si les travaux interviennent à une période de faible disponibilité de la ressource ; Exacerbation de la pression foncière sur le site ; Exacerbation des conflits liés à la distribution des parcelles ; Afflux d'immigrés pour la recherche de terres aménagées ; Risques de contamination par le VIH/SIDA et autres IST avec les comportements sexuels à risque qui pourraient être observés de la part de la main d'œuvre ; Développement de certaines maladies telles que le paludisme, la bilharziose, la diarrhée, etc. lié à la présence permanente de l'eau ; Perte de champs et de pâturages ; Pollution des eaux souterraines par les intrants agricoles tels que les engrais et les pesticides provenant des activités agricoles sur les aménagements ; Modification de l'écologie des milieux récepteurs des eaux de drainage notamment par des phénomènes d'eutrophisation ou de toxicité pour la flore, la faune et même l'homme, pendant la phase d'exploitation</p>

I.3. Sites des emprunts

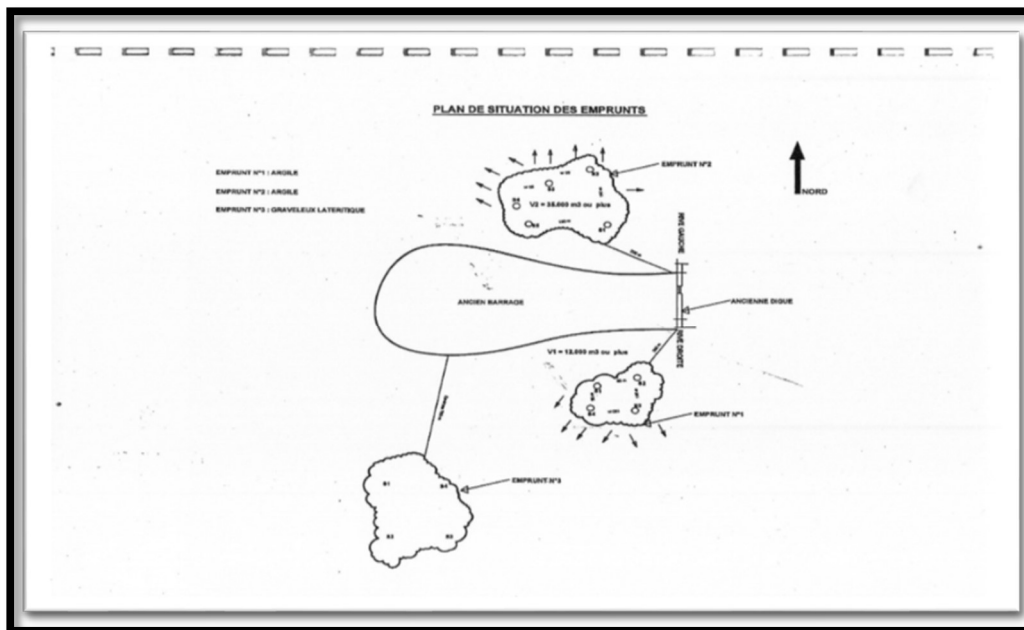


Figure 10: Croquis des emprunts

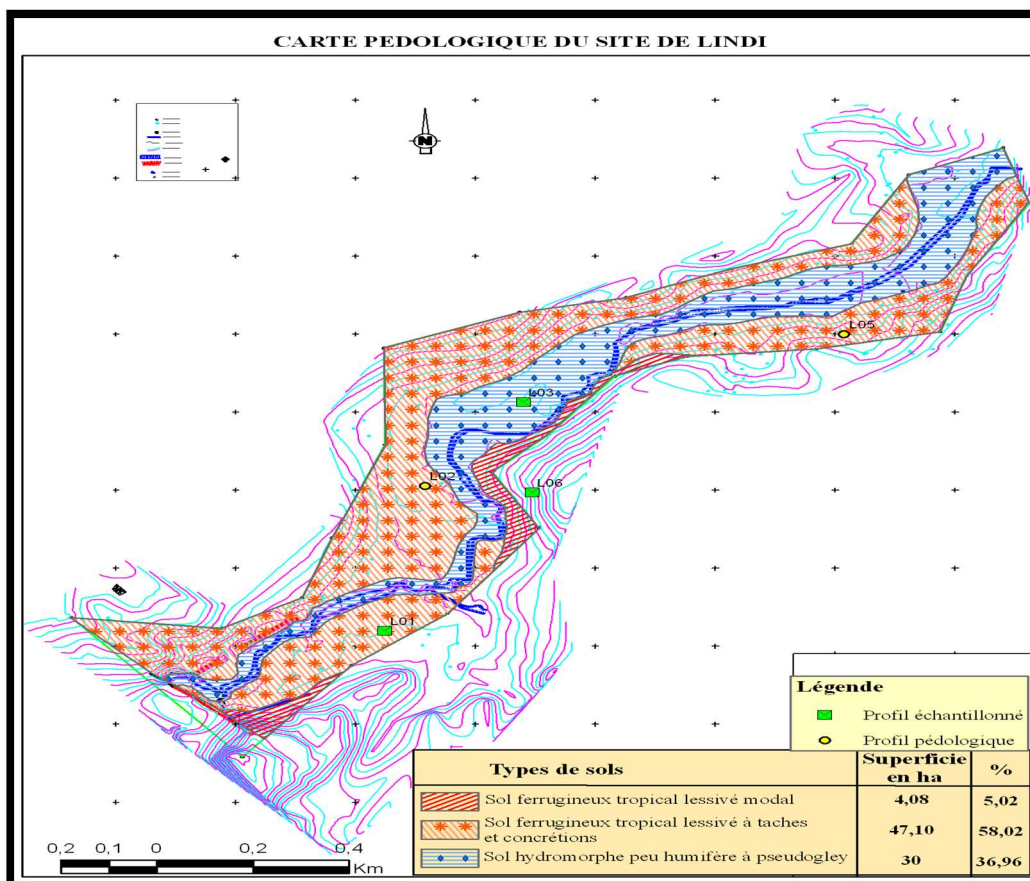


Figure 11: Carte pédologique à l'aval du barrage de Lindi

Annexe II: NOTES DE CALCUL

II.1. Etudes hydrologiques

🚧 Données statistiques des pluies de la station synoptique d'Ouagadougou (1953-2015)

Tableau 39: Données météorologiques de station synoptique de Ouagadougou.

ANNEES	Pluie annuelle (mm)	Pluie journalière maximale (mm)	ANNEES	Pluie annuelle (mm)	Pluie journalière maximale (mm)	Vitesse maximale (m/s)
1953	884.3		1985	673.9	50.4	3.2
1954	949.6		1986	794	47.2	2.7
1955	1040.4		1987	784.5	75.6	2.4
1956	1102		1988	734.9	64.2	2.4
1957	993.4		1989	797.8	74.9	2.9
1958	766.4		1990	675.9	55	2.6
1959	990.6		1991	900.7	105.2	2.3
1960	803.5		1992	698.7	53.9	2.8
1961	705		1993	750.6	54	2
1962	1183.2		1994	727.8	58.2	2.5
1963	656.8		1995	700.2	73.1	2.8
1964	1103.2		1996	677.4	70.3	2.9
1965	852.2		1997	587.8	45.2	3.2
1966	648.1		1998	668.3	72.4	2.7
1967	764.4		1999	800.2	66	3.3
1968	773.6		2000	594.1	58.6	3.1
1969	1045.3	60.2	2001	618.7	49.8	2.9
1970	728.8	89.6	2002	656.2	58.1	3
1971	726.4	89.8	2003	847.7	62.1	2.9
1972	1060	59.9	2004	772	55.1	3
1973	745.9	59	2005	839.9	75.7	3.1
1974	924.1	60.5	2006	596.8	51.5	3.3
1975	755.6	65.6	2007	713.2	116.7	3.7
1976	1106.2	82.7	2008	767.4	58.4	3.5
1977	635.3	89.3	2009	923.6	261.3	3.3
1978	764.2	67.5	2010	839	70.4	3.2
1979	740.8	46.5	2011	689.4	43.8	2.9
1980	593.2	45.7	2012	1003	67.8	3.4
1981	713.6	61.5	2013	795.3	67.3	3.4
1982	634.7	37.1	2014	843.9	57.2	3.2
1983	674.6	63.3	2015	898.6	67	3.4
1984	571.4	42.8				

■ Analyse des pluies annuelles à la loi de GAUSS

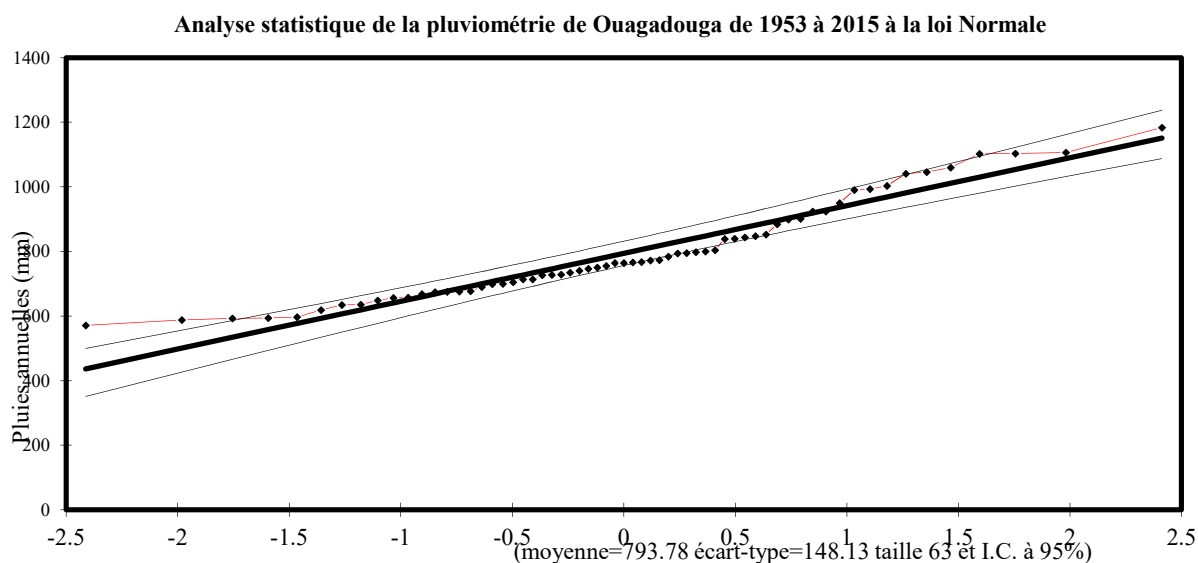


Figure 12: analyse statistique de la pluviométrie annuelle de Ouagadougou à la loi de GAUSS

Tableau 40: Résultats d'ajustement des pluies annuelles de Ouagadougou à la loi de GAUSS

Taille n = 63 Moyenn e = 793.78254 Ecart-type = 148.13 I.C = 95% U Gauss = 1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variab le réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
884.3	571.4	1	0.0079	-2.412	571.4	436.461964	350.606294	499.834476
949.6	587.8	2	0.0238	-1.981	587.8	500.314667	426.129706	556.034179
1040.4	593.2	3	0.0397	-1.755	593.2	533.852534	465.537445	585.812428
1102	594.1	4	0.0556	-1.594	594.1	557.733023	493.454583	607.158866
993.4	596.8	5	0.0714	-1.466	596.8	576.699509	515.525865	624.213955
766.4	618.7	6	0.0873	-1.358	618.7	592.657478	534.016372	638.643488
990.6	634.7	7	0.1032	-1.264	634.7	606.574171	550.074816	651.294089
803.5	635.3	8	0.1190	-1.180	635.3	619.01165	564.368139	662.658309
705	648.1	9	0.1349	-1.103	648.1	630.327073	577.319771	673.049505
1183.2	656.2	10	0.1508	-1.033	656.2	640.76238	589.216279	682.680217
656.8	656.8	11	0.1667	-0.967	656.8	650.489564	600.261167	691.701747
1103.2	668.3	12	0.1825	-0.906	668.3	659.63561	610.604505	700.225984
852.2	673.9	13	0.1984	-0.847	673.9	668.297187	620.360382	708.33826
648.1	674.6	14	0.2143	-0.791	674.6	676.549776	629.617739	716.105348
764.4	675.9	15	0.2302	-0.738	675.9	684.453601	638.447407	723.580651
773.6	677.4	16	0.2460	-0.687	677.4	692.05761	646.906833	730.807699
1045.3	689.4	17	0.2619	-0.637	689.4	699.402245	655.043361	737.822577
728.8	698.7	18	0.2778	-0.589	698.7	706.521411	662.89657	744.655648
726.4	700.2	19	0.2937	-0.542	700.2	713.443912	670.499974	751.33282
1060	705	20	0.3095	-0.497	705	720.194519	677.882284	757.876483
745.9	713.2	21	0.3254	-0.452	713.2	726.794782	685.068372	764.30622
924.1	713.6	22	0.3413	-0.409	713.6	733.263653	692.080004	770.639361

755.6	726.4	23	0.3571	-0.366	726.4	739.617972	698.936416	776.89141
1106.2	727.8	24	0.3730	-0.323	727.8	745.872859	705.654773	783.076393
635.3	728.8	25	0.3889	-0.282	728.8	752.042022	712.250535	789.207133
764.2	734.9	26	0.4048	-0.241	734.9	758.138018	718.737752	795.295477
740.8	740.8	27	0.4206	-0.200	740.8	764.172461	725.129318	801.352493
593.2	745.9	28	0.4365	-0.160	745.9	770.156201	731.437171	807.388626
713.6	750.6	29	0.4524	-0.119	750.6	776.099482	737.672473	813.413845
634.7	755.6	30	0.4683	-0.079	755.6	782.012068	743.845759	819.437761
674.6	764.2	31	0.4841	-0.040	764.2	787.903371	749.967071	825.469746
571.4	764.4	32	0.5000	0.000	764.4	793.782555	756.046076	831.519034
673.9	766.4	33	0.5159	0.040	766.4	799.661708	762.095333	837.598009
794	767.4	34	0.5317	0.079	767.4	805.553011	768.127318	843.71932
784.5	772	35	0.5476	0.119	772	811.465598	774.151235	849.892606
734.9	773.6	36	0.5635	0.160	773.6	817.408878	780.176453	856.127908
797.8	784.5	37	0.5794	0.200	784.5	823.392618	786.212587	862.435762
675.9	794	38	0.5952	0.241	794	829.427061	792.269603	868.827328
900.7	795.3	39	0.6111	0.282	795.3	835.523057	798.357947	875.314545
698.7	797.8	40	0.6270	0.323	797.8	841.692221	804.488686	881.910306
750.6	800.2	41	0.6429	0.366	800.2	847.947107	810.673669	888.628663
727.8	803.5	42	0.6587	0.409	803.5	854.301427	816.925719	895.485076
700.2	839	43	0.6746	0.452	839	860.770297	823.25886	902.496708
677.4	839.9	44	0.6905	0.497	839.9	867.370561	829.688597	909.682796
587.8	843.9	45	0.7063	0.542	843.9	874.121168	836.232259	917.065106
668.3	847.7	46	0.7222	0.589	847.7	881.043668	842.909431	924.668509
800.2	852.2	47	0.7381	0.637	852.2	888.162834	849.742502	932.521718
594.1	884.3	48	0.7540	0.687	884.3	895.507469	856.75738	940.658247
618.7	898.6	49	0.7698	0.738	898.6	903.111478	863.984429	949.117673
656.2	900.7	50	0.7857	0.791	900.7	911.015303	871.459731	957.94734
847.7	923.6	51	0.8016	0.847	923.6	919.267893	879.226819	967.204698
772	924.1	52	0.8175	0.906	924.1	927.929469	887.339095	976.960574
839.9	949.6	53	0.8333	0.967	949.6	937.075515	895.863332	987.303913
596.8	990.6	54	0.8492	1.033	990.6	946.8027	904.884863	998.3488
713.2	993.4	55	0.8651	1.103	993.4	957.238007	914.515574	1010.24531
767.4	1003	56	0.8810	1.180	1003	968.553429	924.90677	1023.19694
923.6	1040.4	57	0.8968	1.264	1040.4	980.990908	936.27099	1037.49026
839	1045.3	58	0.9127	1.358	1045.3	994.907601	948.921592	1053.54871
689.4	1060	59	0.9286	1.466	1060	1010.86557	963.351124	1072.03921
1003	1102	60	0.9444	1.594	1102	1029.83206	980.406213	1094.1105
795.3	1103.2	61	0.9603	1.755	1103.2	1053.71255	1001.75265	1122.02763
843.9	1106.2	62	0.9762	1.981	1106.2	1087.25041	1031.5309	1161.43537
898.6	1183.2	63	0.9921	2.412	1183.2	1151.10312	1087.7306	1236.95879

▪ **Analyse des pluies journalières maximales à la loi de GUMBEL**

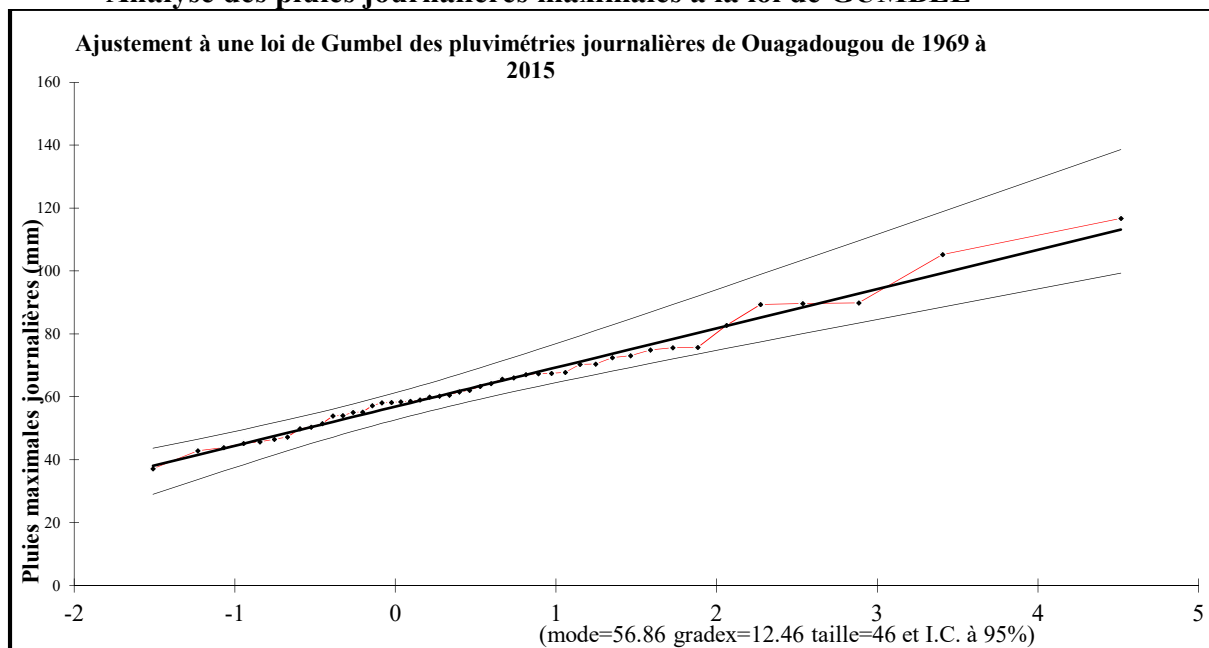


Figure 13: Analyse statistique des pluies journalière d’Ouagadougou à la loi de GUMBEL

Tableau 41: Résultat d'ajustement des pluies journalières de Ouagadougou à la de GUMBEL

Taille n = 46		g= 12.46			I.C. à (en%)= 95		U Gauss= 1.9604	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
60.2	37.1	1	0.011	-1.509	37.1	38.1	28.9	43.6
89.6	42.8	2	0.033	-1.231	42.8	41.5	33.7	46.5
89.8	43.8	3	0.054	-1.069	43.8	43.5	36.4	48.2
59.9	45.2	4	0.076	-0.946	45.2	45.1	38.4	49.6
59.0	45.7	5	0.098	-0.844	45.7	46.3	40.1	50.7
60.5	46.5	6	0.120	-0.753	46.5	47.5	41.5	51.7
65.6	47.2	7	0.141	-0.671	47.2	48.5	42.8	52.7
82.7	49.8	8	0.163	-0.595	49.8	49.4	44.0	53.6
89.3	50.4	9	0.185	-0.524	50.4	50.3	45.1	54.4
67.5	51.5	10	0.207	-0.456	51.5	51.2	46.2	55.3
46.5	53.9	11	0.228	-0.390	53.9	52.0	47.1	56.1
45.7	54.0	12	0.250	-0.327	54.0	52.8	48.1	56.9
61.5	55.0	13	0.272	-0.265	55.0	53.6	49.0	57.7
37.1	55.1	14	0.293	-0.204	55.1	54.3	49.9	58.5
63.3	57.2	15	0.315	-0.144	57.2	55.1	50.7	59.3
42.8	58.1	16	0.337	-0.084	58.1	55.8	51.5	60.1
50.4	58.2	17	0.359	-0.025	58.2	56.5	52.3	60.9
47.2	58.4	18	0.380	0.034	58.4	57.3	53.1	61.7
75.6	58.6	19	0.402	0.093	58.6	58.0	53.9	62.6
64.2	59.0	20	0.424	0.153	59.0	58.8	54.7	63.5
74.9	59.9	21	0.446	0.213	59.9	59.5	55.4	64.3
55.0	60.2	22	0.467	0.274	60.2	60.3	56.2	65.3

105.2	60.5	23	0.489	0.335	60.5	61.0	56.9	66.2
53.9	61.5	24	0.511	0.398	61.5	61.8	57.7	67.2
54.0	62.1	25	0.533	0.462	62.1	62.6	58.5	68.1
58.2	63.3	26	0.554	0.528	63.3	63.4	59.2	69.2
73.1	64.2	27	0.576	0.595	64.2	64.3	60.0	70.3
70.3	65.6	28	0.598	0.665	65.6	65.1	60.8	71.4
45.2	66.0	29	0.620	0.737	66.0	66.0	61.6	72.5
72.4	67.0	30	0.641	0.811	67.0	67.0	62.4	73.8
66.0	67.3	31	0.663	0.889	67.3	67.9	63.3	75.1
58.6	67.5	32	0.685	0.971	67.5	69.0	64.2	76.4
49.8	67.8	33	0.707	1.057	67.8	70.0	65.1	77.9
58.1	70.3	34	0.728	1.149	70.3	71.2	66.1	79.4
62.1	70.4	35	0.750	1.246	70.4	72.4	67.1	81.0
55.1	72.4	36	0.772	1.351	72.4	73.7	68.2	82.8
75.7	73.1	37	0.793	1.464	73.1	75.1	69.3	84.8
51.5	74.9	38	0.815	1.588	74.9	76.6	70.6	86.9
116.7	75.6	39	0.837	1.726	75.6	78.4	72.0	89.3
58.4	75.7	40	0.859	1.882	75.7	80.3	73.6	92.0
70.4	82.7	41	0.880	2.061	82.7	82.5	75.3	95.1
43.8	89.3	42	0.902	2.274	89.3	85.2	77.5	98.9
67.8	89.6	43	0.924	2.537	89.6	88.5	80.1	103.5
67.3	89.8	44	0.946	2.885	89.8	92.8	83.5	109.6
57.2	105.2	45	0.967	3.407	105.2	99.3	88.6	118.8
67.0	116.7	46	0.989	4.516	116.7	113.1	99.3	138.5

II.1.2. Etudes du bassin versant

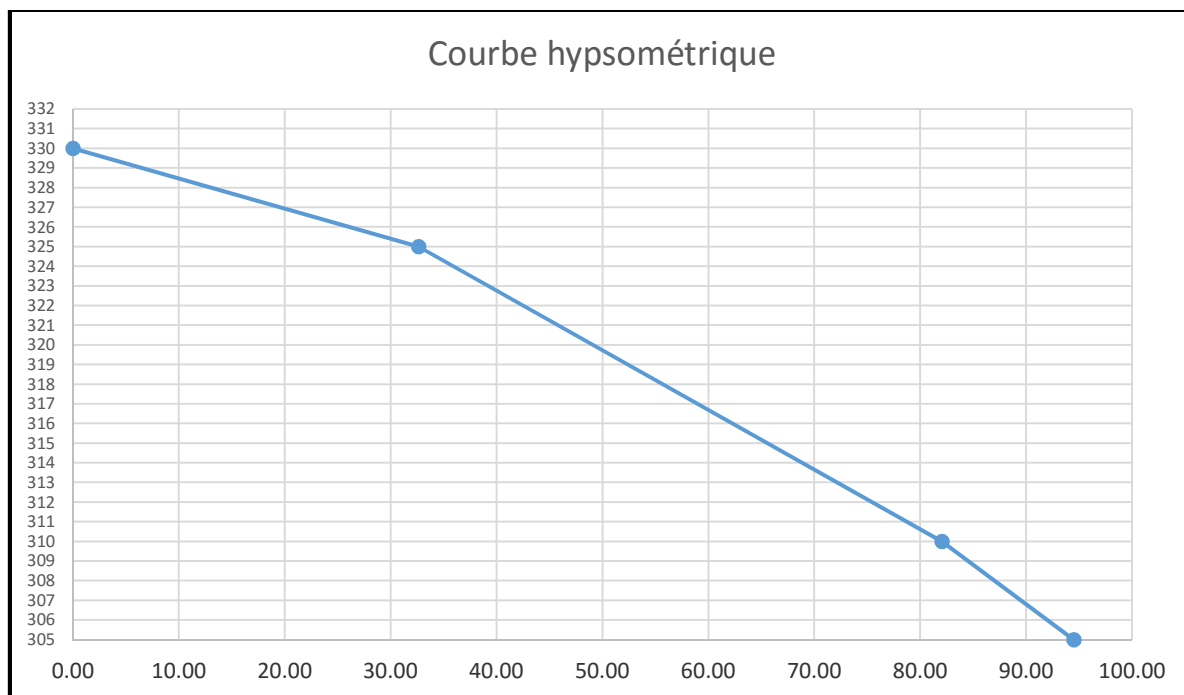


Figure 14: Courbe hypsométrique

II.1.3. Estimation de la crue de projet

Tableau 42: Détermination des paramètres hydrologiques

	DÉSIGNATION	Formules	UNITÉ	APD	Actualisé
	Données de Base				
Caractéristiques morphologiques	Superficie du bassin versant : (S)	Arc gis, Global mapper	km ²	156,84	174.69
	Périmètre du bassin versant : (P)	Arc gis, Global mapper	km	59,41	55.254
	Classe d'infiltrabilité			RI	RI
	Forme du bassin versant				Arrondi
	Pluie journalière centennale : P ₁₀₀	Ajustement à la loi de GUMBEL	mm		114,17
	Pluie journalière décennale : P ₁₀	Ajustement à la loi de GUMBEL	mm	85,5	84,89
	Pluie annuelle décennale : P _{an}	Ajustement à la loi de GAUSS	mm	834	983,64
	Pluie annuelle moyenne : P _m	Moyenne des pluies annuelles	mm	688	793,78
	Indice de compacité I _c	$0.282 * \frac{P}{\sqrt{S}}$		1,34	1,37
	Longueur du rectangle équivalent L _{rec}	$P + \frac{(P^2 - 16S)^{0.5}}{4}$	km	22,84	24,29
	Altitude à 5% des superficies : D _{5%}	Courbe hypsométrique	m	334,5	329
	Altitude à 95% des superficies : D _{95%}	Courbe hypsométrique	m	313,5	307
	Pente transversale : IT		m/km		0.49
	100* (Ig-IT)/Ig			%	46,51
	Indice global de pente : I _g	$\frac{D5\% - D95\%}{Lrec}$	m/km	0,9	0,91
	Indice global de pente corrigé : I _{gcor}	$\frac{(n-1) \times Ig + I_t}{n}$ n = 3	m/km	-	6,90
	Densité spécifique : D _s	$\frac{Igcors}{\sqrt{S}}$	m/km	0.07	0,54
	Coefficient de ruissellement décennal : Kr70 (APD : a = 164, b = 17 c = 10,5, Etude : a = 200, b = 20 c = 19)	$\frac{a}{(S + b)} + c$	%	11,44	19,59
	Coefficient de ruissellement décennal : Kr100 (APD : a' = 250, b' = 20, c' = 12, Etude : a' = 240, b' = 30, c' = 22)	$\frac{a'}{(S + b')} + c'$	%	13,41	23,24

	Coefficient de ruissellement décennal $K_{r10} =$	$\frac{K_{r100} - K_{r70}}{100 - 70} \times (P_{10} - 100) + K_{r100}$	%	12,52	21,41
I. MÉTHODE ORSTOM					
	Période de retour : T		Ans		10
	Coefficient d'abattement de G. Villaume : A	1- $0,001 * (9 * \text{Log} T - 0,042 * \text{Pan} + 152) * \text{Log} S$		0,71	0,74
	Temps de base : T_{b10} (APD : a = 325, b = 315, Etude : a = 163, b = 142)	$a * S^{0,36} + b$	mn	2 1224	1 162
	Temps de montée de la crue décennale : T_{m10}	$0,33 * T_{b10}$	mn		387,28
	Coefficient de forme de la crue α_{10}				2.6
	Débit de pointe de crue décennal de ruissellement : Q_{r10}	$A * P_{10} * K_{R10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}}$	m ³ /s		81,20
	Débit de pointe de crue décennal : Q_{10}	$1.03 * Q_{r10}$	m ³ /s	25,29	83,64
II. MÉTHODE CIEH					
Caractéristiques des crues	Débit de pointe de crue total décennal Q_{T10} équation 11 (a = 0,410 s = 0,524, p = 0, i = 0, k = 0,982)	$a * I_g^i * S^s * \overline{P_{an}}^{-p} * K^k_{r1} *$	m ³ /s		119,81
	Débit de pointe de crue total décennal Q_{T10} équation 12 (a = 0,095 s = 0,643, p = 0, i = 0,406, k = 1,038)	$a * I_g^i * S^s * \overline{P_{an}}^{-p} * K^k_{r10} *$	m ³ /s		132,38
	Débit de pointe de crue total décennal Q_{T10} équation 39 (a = 0,410 s = 0,425, p = 0, i = 0, k = 0,923)	$a * I_g^i * S^s * \overline{P_{an}}^{-p} * K^k_{r1} *$	m ³ /s	36,06	60,39
	Débit de pointe de crue total décennal Q_{T10} équation 40 (a = 0,254 s = 0,462, p = 0, i = 0,101, k = 0,976)	$a * I_g^i * S^s * \overline{P_{an}}^{-p} * K^k_{r1}$	m ³ /s	31,9	64,59
	Débit de pointe de crue total décennal Q_{T10} équation 41 (a = 0,829 s = 0,407, p = 0, i = 0, k = 0,941)	$a * I_g^i * S^s * \overline{P_{an}}^{-p} * K^k_{r10}$	m ³ /s		117,73
	Débit de pointe de crue total décennal Q_{T10} équation 42	$a * I_g^i * S^s * \overline{P_{an}}^{-p} * K^k_{r10}$	m ³ /s		67,81

(a = 0,869 s = 0,0912, p = 0, i = 0,399, k = 1,019)				
Débit de pointe de crue décennal Q ₁₀	Moyenne (N°39, N°40 et N°42)	m ³ /s	34,02	65
DÉBIT DE CRUE DÉCENNALE ADOPTE: Q_p	Max (Q ₁₀ ORSTOM, Q ₁₀ CIEH)	m ³ /s	30	84
CRUE CENTENNALE				
Coefficient majorateur : C	$1 + \frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} * \frac{(\frac{Tb}{24})^{0,12}}{Kr_{10}}$			2,73
Méthode du GRATEX	C*Q ₁₀	m ³ /s		228,34
Méthode MATON	1,45*Q ₁₀	m ³ /s		121,27
Méthode de l'ASEER	2*Q ₁₀	m ³ /s	60	167,27
DÉBIT DE CRUE CENTENNALE ADOPTE : Q₁₀₀		m ³ /s	150	230

II.2. Etudes de la cuvette

II.2.1. Estimation des besoins en eau

Tableau 43: Estimation des besoins de l'oignon

Données de base							
Nombre de jours d'irrigation : $n_j = 24$, Nombre d'heures d'irrigation : $n_h = 8$							
Paramètres	Unités	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	
ET0 (station de Ouaga)	mm	169,25	179,55	181,64	180,27	201,99	
Efficiencie : E (MASA, 2008)		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
Pluies mensuelles : P	m3/ha	5,74	0,65	1,10	0,81	42,19	
Pluies efficaces : Peff Peff = 0,8*P si P ≥ 20mm, Peff = P si < 20 mm	m3/ha	-	-	-	-	-	
Oignon	Kc (CROPWAT 8.0)		0.80	1.05	1.05	1.01	0.69
	Besoins nets : Bn = Kc*ET0 - Peff	m3/ha	1 353,99	1 885,29	1 907,24	1 828,47	1 384,61
	Besoins brutes : Bb = Bn/E	m3/ha	1 692,48	2 356,61	2 384,05	2 285,59	1 730,76
	Nombre de jours de la période : nb	Jour	30	31	31	28	30
	Débit fictif continu : DFC = Bb*1000/(nb*24*3600)	l/s/ha	0,65	0,88	0,89	0,94	0,65
	Débit maximum de pointe : DMP = Bb*1000/(nj*nh*3600)	l/s/ha	2,45	3,41	3,45	3,31	2,50

II.2.2. Estimation des besoins pastoraux

Tableau 44 : Estimation des besoins pastoraux

Mois	Nombre de jour : Nj	Consommation (l/j/UBT)	Nombre d'UBT	Besoins (m3)
Janvier	31	30	98 722	91 811
Février	28	30	98 722	82 926
Mars	31	30	98 722	91 811
Avril	30	30	98 722	88 850
Mai	31	30	98 722	91 811
Juin	30	30	98 722	88 850
Juillet	31	30	98 722	91 811
Août	31	30	98 722	91 811
Septembre	30	30	98 722	88 850
Octobre	31	30	98 722	91 811
Novembre	30	30	98 722	88 850
Décembre	31	30	98 722	91 811
Total				1 081 003

II.2.3. Estimation des pertes

Tableau 45: Estimation de l'évaporation mensuelle du plan d'eau du barrage de Lindi

Mois	Coefficient multiplicateur de la FAO	ET0 (source : météo)		Evaporation du plan d'eau	
		mm	m3/ha	mm	m3/ha
Octobre	1.05	171.26	1 712.60	179.82	1 798.23
Novembre	1.2	169.25	1 692.48	203.10	2 030.98
Décembre	1.2	179.55	1 795.52	215.46	2 154.62
Janvier	1.2	181.64	1 816.42	217.97	2 179.70
Février	1.2	180.27	1 802.72	216.33	2 163.26
Mars	1.2	201.99	2 019.90	242.39	2 423.88
Avril	1.2	192.28	1 922.77	230.73	2 307.32
Mai	1.2	197.22	1 972.17	236.66	2 366.60
Juin	1.05	173.62	1 736.17	182.30	1 822.98
Juillet	1.05	151.50	1 515.00	159.08	1 590.75
Août	1.05	137.56	1 375.60	144.44	1 444.38
Septembre	1.05	143.59	1 435.90	150.77	1 507.70

Tableau 46: Estimation des pertes d'eau par infiltration dans la cuvette du barrage de Lindi

Données de base			
Infiltration journalière : $i_{\text{jour}} = 1,5 \text{ mm/jour}$			
Mois	Nombre de jour : n	Infiltration mensuelle : $I = n * i_{\text{jour}}$	
		mm	m ³ /ha
Octobre	31	47	465
Novembre	30	45	450
Décembre	31	46,5	465
Janvier	31	46,5	465
Février	28	42	420
Mars	31	46,5	465
Avril	30	45	450
Mai	31	46,5	465
Juin	30	45	450
Juillet	31	46,5	465
Août	31	46,5	465
Septembre	30	45	450

II.2.4. Estimation des dépôts solides

Tableau 47 : Estimation des dépôts solides

Désignation	Formules	Unités	Valeurs
Superficie du bassin versant : S	-	Km ²	156,84
Pluviométrie annuelle moyenne : P	-	mm	793,78
Méthode de Grésillon	$700 * (\frac{P}{500})^{-2,2} * S^{-0,1} * S$	m ³ /an	23 955
Méthode de Gottschalk	$260 * S^{-0,1} * S$	m ³ /an	24 597

II.2.4 Etudes des apports

Tableau 48: Estimation des apports liquides sur le barrage de Lindi

METHODE DE RODIER				
Désignation	Lame d'écoulée sur le graphique de Rodier : LE (mm)	Pluies annuelles correspondantes : P (mm)	Ke = P/LE (%)	Apports : V = Ke*P*S (m ³)
Année décennale sèche	4.8	603.92	0.79	752 832
Années quinquennale sèche	9	669.14	1.35	1 411 560
Année médiane	23	793.78	2.90	3 607 320
Année décennale humide	65	983.92	6.61	10 194 600
Année quinquennale humide	50	918.43	5.44	7 842 000

II.2.5. Estimation du volume de la cuvette

Tableau 49: Estimation du volume de la retenue

Côtes (m)	Hauteur : h (m)	Surface : S (ha)		Volume partiel : (m ³) Vp = (S _{n-1} + S _n) * h _n / 2		Volume cumulé : (m ³) Vc = V _{pn} + V _{cn-1}	
		APD	Réévaluation	APD	Réévaluation	APD	Réévaluation
304,4	-	-	-	-	-	-	-
305	0,57	9,86	10,36	28 095	29 530	28 095	29 530
305,5	0,5	32,58	34,20	106 099	111 397	134 194	140 927
306	0,5	57,12	73,91	224 261	270 270	358 455	411 197
306,5	0,5	85,08	96,83	355 518	426 856	713 973	838 054
307	0,5	126,59	144,17	529 198	602 516	1 243 170	1 440 569
307,5	0,5	181,91	199,39	771 271	858 913	2 014 442	2 299 483
308	0,5	243,66	261,36	1063940	1 151 881	3 078 381	3 451 364

II.3. Dimensionnement de la digue

II.3.1. Simulation de la retenue

➤ Estimation du débit d'équipement

Tableau 50 : Estimation du débit d'équipement

Paramètres		Unités	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
ET0 (station de Ouaga)		mm	169,25	179,55	181,64	180,27	201,99
Efficience : E (MASA, 2008)			0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Pluies mensuelles : P		m3/ha	5,74	0,65	1,1	0,81	42,19
Pluies efficaces : Peff Peff = 0,8*P si P ≥ 20mm, Peff = P si < 20 mm		m3/ha	-	-	-	-	-
Oignon	Kc (CROPWAT 8,0)		0,8	1,05	1,05	1,01	0,69
	Besoins nets : Bn = Kc*ET0 - Peff	m3/ha	1353,99	1885,29	1907,24	1828,47	1384,61
	Nombre de jours de la période : nb	Jour	30	31	31	28	31
	Nombre de jours d'irrigation : nj	Jour	24	24	24	24	24
	Nombre d'heures d'irrigation : nh	Heure	8	8	8	8	8
	Besoins brutes : Bb = Bn/E	m3/ha	1 692,48	2 356,61	2 384,05	2 285,59	1 730,76
	Débit fictif continu : DFC = Bb*1000/(nb*24*3600)	l/s/ha	0,65	0,88	0,89	0,94	0,65
	Débit maximum de pointe: DMP = Bb*1000/(nj*nh*3600)	l/s/ha	2,45	3,41	3,45	3,31	2,50

➤ **Estimation des besoins en eau d'irrigation**

Tableau 51: Estimation des besoins totaux agricoles

Données de base			
Surface totale exploitable en année décennale sèche : $S_s = 4$ ha			
Surface totale exploitable en année normale : $S_n = 34,5$ ha			
Mois	Besoins brute : Bb (m^3/ha)	Besoins agricoles totaux : $B_t = B_b * S$ (m^3)	
		Année décennale sèche	Année normale
Novembre	1 692,48	6 769,94	58 390,69
Décembre	2 356,61	9 426,46	81 303,21
Janvier	2 384,05	9 536,20	82 249,74
Février	2 285,59	9 142,37	78 852,90
Mars	1 730,76	6 923,06	59 711,35

➤ **Estimation des dépôts solides au bout de 50 ans**

Tableau 52: Estimation des dépôts solides au bout de 50 ans

Mois	Volume des dépôts solides	
	m^3/an	50 ans (m^3)
Octobre	943,48	47174,07
Novembre	18,24	912,22
Décembre	2,05	102,50
Janvier	3,48	174,24
Février	2,56	128,12
Mars	134,07	6703,28
Avril	775,80	38789,85
Mai	1 906,64	95332,12
Juin	2 723,23	136161,65
Juillet	5 980,78	299039,04
Août	7 073,19	353659,50
Septembre	4 391,47	219 573,41
Total	23 955	1 197 750

➤ **Estimation des apports liquides**

Tableau 53: Estimation des apports mensuels liquides

Données de base			
Apports liquides en année décennale sèche : $A_{ps} = 752\ 852\ m^3$			
Apports liquides en année normale : $A_{pn} = 1\ 440\ 570\ m^3$			
Mois	Pluies moyenne mensuelle (mm) : P_{mois}	Apports mensuels en année sèche (m3) : $A_{mois} = A_{ps} * P_{mois} / P_{an}$	Apports mensuels en année normale (m3) : $A_{mois} = A_{pn} * P_{mois} / P_{an}$
Octobre	29,69	29 650,72	56 737,68
Novembre	0,57	573,37	1 097,15
Décembre	0,06	64,42	123,28
Janvier	0,11	109,52	209,57
Février	0,08	80,53	154,09
Mars	4,22	4 213,27	8 062,24
Avril	24,42	24 380,91	46 653,72
Mai	60,01	59 919,91	114 658,81
Juin	85,71	85 582,84	163 765,72
Juillet	188,23	187 957,56	359 663,27
Août	222,61	222 288,61	425 356,93
Septembre	138,21	138 010,34	264 087,55
Total	$P_{an} = 753,92$	752 832	1 440 570

Simulation en année décennale sèche

Tableau 54: Simulation de l'exploitation de la retenue en année décennale sèche

SIMULATION DE L'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN ANNEE DECENNALE SECHE												
	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
Cote du plan d'eau en début du mois (m)	306,43	306,31	306,16	306,04	305,94	305,87						
Surface du plan d'eau (ha) : 1	78,39	66,79	52,96	41,66	31,27	25,21						
Volume d'eau en début du mois (10^3m^3) : 2	752,83	605,07	433,17	285,07	165,46	75,62	0,09	24,47	84,39	169,97	357,93	580,22
Dépôts solides (10^3m^3) : 3	47,17	0,91	0,10	0,17	0,13	6,70	38,79	95,33	136,16	299,04	353,66	219,57
Volume brute (10^3m^3) : 4 = 2 + 3	800,01	605,98	433,27	285,24	165,59	82,33	38,88	119,80	220,55	469,01	711,59	799,79
Perte par évaporation ($10^3\text{m}^3/\text{ha}$) : 5	1,80	2,03	2,15	2,18	2,16	2,42	2,31	2,37	1,82	1,59	1,44	1,51
Perte par évaporation (10^3m^3) : 6 = 5*1	140,96	135,65	114,11	90,81	67,65	61,11	-	-	-	-	-	-

SIMULATION DE L'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN ANNEE DECENNALE SECHE												
	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
Perte par infiltration (10 ³ m ³) : 7	36,45	30,06	24,63	19,37	13,13	11,72	-	-	-	-	-	-
Perte totale (10 ³ m ³) : 8 = 6+7	177,41	165,70	138,74	110,18	80,78	72,83	-	-	-	-	-	-
Besoins pastoraux (10 ³ m ³) : 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Besoins pour l'irrigation (10 ³ m ³) : 10	-	6,77	9,43	9,54	9,14	6,92	-	-	-	-	-	-
Volume restant (10 ³ m ³) 11 = 4 - (8+9+10)	622,59	433,51	285,11	165,53	75,67	2,58	38,88	119,80	220,55	469,01	711,59	799,79
Apports (10 ³ m ³) : 12	29,65	0,57	0,06	0,11	0,08	4,21	24,38	59,92	85,58	187,96	222,29	138,01
Volume restant + apports (10 ³ m ³) : 13 = 11+12	652,24	434,08	285,17	165,64	75,75	6,79	63,26	179,72	306,13	656,97	933,88	937,80
Volume d'eau en fin du mois (10 ³ m ³) : 14 = 13-3	605,07	433,17	285,07	165,46	75,62	0,09	24,47	84,39	169,97	357,93	580,22	718,23

Simulation en année normale

Tableau 55: Simulation de l'exploitation en année normale (sans les besoins pastoraux)

SIMULATION DE L'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN ANNEE NORMALE (SANS LES BESOINS PASTORAUX)												
	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept
Cote du plan d'eau en début du mois (m)	307,00	306,81	306,52	306,25	306,04	305,87						
Surface du plan d'eau (ha) : 1	126,59	114,35	86,84	61,59	41,33	25,78						
Volume d'eau en début du mois (103m ³) : 2	1 440,57	1 210,81	869,81	561,14	316,22	130,75	4,63	51,28	165,94	329,71	689,37	1 114,73
Dépôts solides (103m ³) : 3	47,17	0,91	0,10	0,17	0,13	6,70	38,79	95,33	136,16	299,04	353,66	219,57
Volume brute (103m ³) : 4 = 2 + 3	1 487,74	1 211,72	869,91	561,32	316,34	137,45	43,42	146,61	302,10	628,74	1 043,03	1 334,30
Perte par évaporation (103m ³ /ha) : 5	1,80	2,03	2,15	2,18	2,16	2,42	2,31	2,37	1,82	1,59	1,44	1,51

SIMULATION DE L'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN ANNEE NORMALE (SANS LES BESOINS PASTORAUX)												
	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept
Perte par évaporation (103m3) : 6 = 5*1	227,64	232,24	187,11	134,25	89,41	62,49	-	-	-	-	-	-
Perte par infiltration (103m3) : 7	58,86	51,46	40,38	28,64	17,36	11,99	-	-	-	-	-	-
Perte totale (103m3) : 8 = 6+7	286,50	283,70	227,49	162,89	106,77	74,48	-	-	-	-	-	-
Besoins pastoraux (103m3) : 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Besoins pour l'irrigation (103m3) : 10	-	58,39	81,30	82,25	78,85	59,71	-	-	-	-	-	-
Volume restant (103m3) : 11 = 4-(8+9+10)	1 201,24	869,63	561,12	316,18	130,73	3,27	43,42	146,61	302,10	628,74	1 043,03	1 334,30
Apports (103m3) : 12	56,74	1,10	0,12	0,21	0,15	8,06	46,65	114,66	163,77	359,66	425,36	264,09

SIMULATION DE L'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN ANNEE NORMALE (SANS LES BESOINS PASTORAUX)												
	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept
Volume restant + apports (103m ³) : 13= 11+12	1 257,98	870,72	561,25	316,39	130,88	11,33	90,07	261,27	465,87	988,41	1 468,38	1 598,39
Volume d'eau en fin du mois (103m ³) : 14 =13-3	1 210,81	869,81	561,14	316,22	130,75	4,63	51,28	165,94	329,71	689,37	1 114,73	1 378,81

Tableau 56 : Simulation de l'exploitation en année normale (avec les besoins pastoraux)

SIMULATION DE L'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN ANNEE NORMALE (AVEC LES BESOINS PASTORAUX)												
	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept
Cote du plan d'eau en début du mois (m)	307,00	306,73	306,43	306,17	305,94	305,81						
Surface du plan d'eau (ha)	126,59	107,14	78,45	53,82	34,14	19,46						
Volume d'eau en début du mois (10 ³ m ³)	1440,57	1118,99	753,58	439,89	189,26	2,30						
Dépôts solides (10 ³ m ³)	47,17	0,91	0,10	0,17	0,13	6,70	38,79	95,33	136,16	299,04	353,66	219,57
Volume brute (10 ³ m ³)	1487,74	1119,91	753,68	440,06	189,39	9,00						
Perte par évaporation (10 ³ m ³ /)	227,64	217,60	169,03	117,31	73,85	47,17						

SIMULATION DE L'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN ANNEE NORMALE (AVEC LES BESOINS PASTORAUX)												
	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept
Perte par infiltration (10 ³ m3)	58,86	48,21	36,48	25,03	14,34	9,05						
Perte totale (10 ³ m3)	286,50	265,81	205,51	142,34	88,19	56,22						
Besoins pastoraux (10 ³ m3)	91,81	88,85	91,81	91,81	82,92	91,81	88,85	91,81	88,85	91,81	91,81	88,85
Besoins pour l'irrigation (10 ³ m3)	0,00	11,85	16,50	16,69	16,00	12,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Volume restant (10 ³ m3)	1109,43	753,40	439,87	189,23	2,27	-151,14	-199,84	-188,46	-121,82	113,01	435,48	637,90
Apports (10 ³ m3)	56,74	1,10	0,12	0,21	0,15	8,06	46,65	114,66	163,77	359,66	425,36	264,09
Volume restant + apports (10 ³ m3) :	1166,17	754,49	439,99	189,44	2,43	-143,08	-153,19	-73,80	41,94	472,67	860,84	901,99

SIMULATION DE L'EXPLOITATION DE LA RETENUE EN ANNEE NORMALE (AVEC LES BESOINS PASTORAUX)												
	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept
Volume d'eau en fin du mois (10^3m^3) :	1118,99	753,58	439,89	189,26	2,30	-149,78	-191,98	-169,13	-94,22	173,64	507,18	682,42

II3.2. Estimation du volume de la tranchée d'ancrage

Tableau 57: Estimation du volume de la tranchée d'ancrage

Données de base					
Pente du talus amont = pente du talus aval (H/V) = 1/3					
Largeur en base : Lb = 3,5 m					
N° profil	Distances intermédiaires : Di (m)	Profondeur de la tranchée d'ancrage : Pi (m)	Largeur au plafond : Lp (m) = 2*Pi*m+ Lb	Surface au profil : Si (m ²) = (Lp+Lb)*Pi/2	Volume partiel : V (m ³) = (S _{n-1} + S _n)*Di/2
P0	0	0,5	3,83	1,83	
D1	21,49	0,5	3,83	1,83	39,40
1	30	0,5	3,83	1,83	55,00
2	25,43	0,5	3,83	1,83	46,62
3	26,08	1,25	4,33	4,90	87,75
4	25,26	1,25	4,33	4,90	123,67
5	25,05	1,25	4,33	4,90	122,64
6	23,91	1,25	4,33	4,90	117,06
7	24,42	1,25	4,33	4,90	119,56
8	23,71	1,25	4,33	4,90	116,08
9	24,81	1,25	4,33	4,90	121,47
10	23,93	1,25	4,33	4,90	117,16
11	22,14	1,25	4,33	4,90	108,39
11	2,85	3,5	5,83	16,33	30,25
12	15	3,5	5,83	16,33	245,00
13	9,38	3,5	5,83	16,33	153,21
14	17,19	3,5	5,83	16,33	280,77
15	17,33	3,5	5,83	16,33	283,06
16	17,33	3,5	5,83	16,33	283,06
17	17,33	3,5	5,83	16,33	283,06
17	11,44	3,5	5,83	16,33	186,85
18	5,9	3,5	5,83	16,33	96,37
18	9,1	3,5	5,83	16,33	148,63
19	10,78	3,5	5,83	16,33	176,07
20	20,32	3,5	5,83	16,33	331,89
21	21,25	3,5	5,83	16,33	347,08
22	18,5	3,5	5,83	16,33	302,17
23	18,84	1,75	4,67	7,15	221,17
24	19,34	1,75	4,67	7,15	138,20
25	20	1,75	4,67	7,15	142,92
26	20,75	1,75	4,67	7,15	148,28

Données de base					
Pente du talus amont = pente du talus aval (H/V) = 1/3					
Largeur en base : Lb = 3,5 m					
N° profil	Distances intermédiaires : Di (m)	Profondeur de la tranchée d'ancrage : Pi (m)	Largeur au plafond : Lp (m) = 2*Pi*m+ Lb	Surface au profil : Si (m ²) = (Lp+Lb)*Pi/2	Volume partiel : V (m ³) = (S _{n-1} + S _n)*Di/2
27	21,93	1,75	4,67	7,15	156,71
28	20,49	1,75	4,67	7,15	146,42
29	20,1	1,75	4,67	7,15	143,63
30	18,82	0,5	3,83	1,83	84,49
31	19,97	0,5	3,83	1,83	36,61
32	20,51	1,5	4,50	6,00	80,33
33	20,65	1,5	4,50	6,00	123,90
34	20,19	1,5	4,50	6,00	121,14
35	19,41	1,5	4,50	6,00	116,46
36	19,54	1,75	4,67	7,15	128,43
37	19,79	1,75	4,67	7,15	141,42
38	41,38	1,75	4,67	7,15	295,69
39	18,25	1,75	4,67	7,15	130,41
40	18,13	1,75	4,67	7,15	129,55
41	19,23	1,75	4,67	7,15	137,41
42	19,52	1,75	4,67	7,15	139,49
43	20,55	2,5	5,17	10,83	184,74
44	43,44	2,5	5,17	10,83	470,60
45	22,29	2,5	5,17	10,83	241,48
46	33,44	2,5	5,17	10,83	362,27
47	22,37	2,5	5,17	10,83	242,34
48	25,02	2,5	5,17	10,83	271,05
49	27,93	2,5	5,17	10,83	302,58
50	25,64	2,5	5,17	10,83	277,77
51	25,22	1,5	4,50	6,00	212,27
52	24,04	1,5	4,50	6,00	144,24
53	24,6	1,5	4,50	6,00	147,60
54	23,9	1,5	4,50	6,00	143,40
55	24,08	1,5	4,50	6,00	144,48
56	22,85	1,5	4,50	6,00	137,10
57	23,06	1,5	4,50	6,00	138,36
58	24,13	1,5	4,50	6,00	144,78
59	22,45	0,5	3,83	1,83	87,93

Données de base					
Pente du talus amont = pente du talus aval (H/V) = 1/3					
Largeur en base : Lb = 3,5 m					
N° profil	Distances intermédiaires : Di (m)	Profondeur de la tranchée d'ancrage : Pi (m)	Largeur au plafond : Lp (m) = 2*Pi*m+ Lb	Surface au profil : Si (m ²) = (Lp+Lb)*Pi/2	Volume partiel : V (m ³) = (S _{n-1} + S _n)*Di/2
60	21,84	0,5	3,83	1,83	40,04
61	23,99	0,5	3,83	1,83	43,98
62	24,08	0,5	3,83	1,83	44,15
63	23,65	0,5	3,83	1,83	43,36
64	22,55	0,5	3,83	1,83	41,34
65	23,65	0,5	3,83	1,83	43,36
66	21,8	0,5	3,83	1,83	39,97
67	25,71	0,5	3,83	1,83	47,14
68	25	0,5	3,83	1,83	45,83
69	24,69	0,5	3,83	1,83	45,27
70	19,76	0,5	3,83	1,83	36,23
70	10,98	0,5	3,83	1,83	20,13
B5	0				
TOTAL					11 228,68

II.3.3. Estimation des caractéristiques des filtres

Tableau 58: Détermination des caractéristiques du filtre horizontal

Epaisseur de décapage : $d = 20$ cm, PEN = 307 m, PHE = 308 m, Fruit du talus amont (H/V) : $m1 = 2$, Fruit du talus aval (H/V) : $m2 = 2$, Largeur en crête : $b = 3,5$ m Angle du talus : $\alpha = 26,27^\circ$, Perméabilité du remblai compacté : $Kr = 10^{-7}$ m/s, Perméabilité du filtre : $Kf = 10^{-5}$ m/s, Epaisseur du filtre adopté : $Ef = 50$ cm							Côte du terrain naturel : TN Côte crête de la digue : Zd (m) , Distances intermédiaires : Di (m) , Hauteurs intermédiaires : hi (m) = Zd- TN + d , Charge d'eau au PHE : H (m) = PHE – TN , Largeur en base intermédiaire : Li (m) = (m1+m2)*hi + b (m) , Largeur du filtre : lf (m) = Li/3 , Surface intermédiaire du filtre : Sf (m²) , Embase : d (m) = Li - 0,7*(PEN-TN) , Débit de fuite à travers le remblai : q (10⁻⁸*m³/s/ml) , Débit de fuite moyen à travers le remblai : qm (10⁻⁸*m³/s) = (qn-1 + qn)*Di/2 , Epaisseur du filtre au profil e (m) = 2*(q*lf/Kf)^{0,5} , Volume du filtre au profil : Vf (m³) = Ep*Si						
N° profil	TN (m)	Zd (m)	Di (m)	hi (m)	H (m)	Li (m)	lf (m)	Sf (m ²)	d (m)	q (10 ⁻⁸ *m ³ /s/ml)	qm (10 ⁻⁸ *m ³ /s)	e (m)	Vf (m ³)
P0	308,5	308,5		0,2	-0,5	4,3	0		5,35	0,24		0	
D1	308,28	308,5	21,49	0,42	-0,28	5,18	0	0	4,83	0,08	3,40	0	0
1	308,26	308,5	30	0,44	-0,26	5,26	0	0	5,63	0,06	2,12	0	0
2	308,12	308,5	25,43	0,58	-0,12	5,82	0	0	5,70	0,01	0,93	0	0
3	307,87	308,5	26,08	0,83	0,13	6,82	0	0	6,21	0,01	0,34	0	0
4	307,84	308,5	25,26	0,86	0,16	6,94	0	0	7,12	0,02	0,40	0	0
5	307,86	308,5	25,05	0,84	0,14	6,86	0	0	7,23	0,01	0,39	0	0
6	307,67	308,5	23,91	1,03	0,33	7,62	0	0	7,16	0,08	1,07	0	0
7	307,65	308,5	24,42	1,05	0,35	7,7	0	0	7,85	0,08	1,88	0	0
8	307,63	308,5	23,71	1,07	0,37	7,78	0	0	7,93	0,09	1,95	0	0
9	307,39	308,5	24,81	1,31	0,61	8,74	0	0	8,00	0,23	3,97	0	0
10	307,29	308,5	23,93	1,41	0,71	9,14	0	0	8,88	0,29	6,21	0	0
11	306,67	308,5	22,14	2,03	1,33	11,62	0	0	9,24	0,97	13,93	0	0
11	306,6	308,5	2,85	2,1	1,4	11,9	0	0	11,50	0,86	2,61	0	0

12	306,2	307	15	1	1,8	7,5	0	0	11,76	1,40	16,99	0	0
13	304,43	307	9,38	2,77	3,57	14,58	4,86	22,79	7,22	13,97	72,08	0,52	11,40
14	305,14	307	17,19	2,06	2,86	11,74	3,91	75,41	13,68	3,10	146,66	0,22	37,70
15	304,4	307	17,33	2,8	3,6	14,7	4,9	76,37	11,09	6,45	82,73	0,36	38,18
16	304,31	307	17,33	2,89	3,69	15,06	5,02	85,96	13,79	5,25	101,40	0,32	42,98
17	305,57	307	17,33	1,63	2,43	10,02	3,34	72,44	14,12	2,14	64,06	0,17	36,22
17	305,04	307	11,44	2,16	2,96	12,14	4,05	42,25	9,52	5,03	41,01	0,29	21,13
18	304,76	307,59	5,9	3,03	3,24	15,62	5,21	27,30	11,45	4,92	29,34	0,32	13,65
18	304,79	308,5	9,1	3,91	3,21	19,14	6,38	52,72	14,84	3,61	38,79	0,30	26,36
19	304,82	308,5	10,78	3,88	3,18	19,02	6,34	68,56	18,37	2,82	34,65	0,27	34,28
20	304,79	308,5	20,32	3,91	3,21	19,14	6,38	129,24	18,26	2,89	58,03	0,27	64,62
21	304,57	308,5	21,25	4,13	3,43	20,02	6,67	138,69	18,37	3,29	65,72	0,30	69,35
22	304,31	308,5	18,5	4,39	3,69	21,06	7,02	126,66	19,17	3,66	64,31	0,32	63,33
23	304,82	308,5	18,84	3,88	3,18	19,02	6,34	125,85	20,12	2,56	58,61	0,25	62,93
24	305,14	308,5	19,34	3,56	2,86	17,74	5,91	118,49	18,26	2,28	46,87	0,23	59,24
25	305,31	308,5	20	3,39	2,69	17,06	5,69	116,00	17,09	2,16	44,42	0,22	58,00
26	305,64	308,5	20,75	3,06	2,36	15,74	5,25	113,43	16,47	1,72	40,22	0,19	56,72
27	306,42	308,5	21,93	2,28	1,58	12,62	0	57,53	15,26	0,82	27,88	0,00	28,76
28	307,64	308,5	20,49	1,06	0,36	7,74	0	0	12,42	0,05	8,98	0	0
29	308,12	308,5	20,1	0,58	-0,12	5,82	0	0	7,96	0,01	0,62	0	0
30	308,5	308,5	18,82	0,2	-0,5	4,3	0	0	6,21	0,20	1,99	0	0
31	308,5	308,5	19,97	0,2	-0,5	4,3	0	0	4,83	0,26	4,63	0	0
32	308,29	308,5	20,51	0,41	-0,29	5,14	0	0	4,83	0,09	3,57	0	0
33	307,98	308,5	20,65	0,72	0,02	6,38	0	0	5,59	0,00	0,91	0	0
34	307,89	308,5	20,19	0,81	0,11	6,74	0	0	6,72	0,01	0,09	0	0
35	307,37	308,5	19,41	1,33	0,63	8,82	0	0	7,05	0,28	2,84	0	0
36	307,45	308,5	19,54	1,25	0,55	8,5	0	0	8,95	0,17	4,42	0	0
37	307,77	308,5	19,79	0,93	0,23	7,22	0	0	8,66	0,03	1,98	0	0
38	307,06	308,5	41,38	1,64	0,94	10,06	0	0	7,49	0,60	12,99	0	0
39	306,3	308,5	18,25	2,4	1,7	13,1	0	0	10,08	1,47	18,83	0	0
40	306,84	308,5	18,13	1,86	1,16	10,94	0	0	12,86	0,53	18,06	0	0
41	307,21	308,5	19,23	1,49	0,79	9,46	0	0	10,88	0,29	7,83	0	0
42	306,68	308,5	19,52	2,02	1,32	11,58	0	0	9,53	0,93	11,86	0	0
43	306,07	308,5	20,55	2,63	1,93	14,02	0	0	11,47	1,66	26,60	0	0
44	305,67	308,5	43,44	3,03	2,33	15,62	5,21	113,09	13,69	2,03	80,12	0,21	56,54
45	305,43	308,5	22,29	3,27	2,57	16,58	5,53	119,62	15,15	2,23	47,45	0,22	59,81
46	305,31	308,5	33,44	3,39	2,69	17,06	5,69	187,49	16,03	2,31	75,86	0,23	93,74
47	305,36	308,5	22,37	3,34	2,64	16,86	5,62	126,47	16,47	2,16	49,96	0,22	63,23
48	305,56	308,5	25,02	3,14	2,44	16,06	5,35	137,28	16,29	1,86	50,28	0,20	68,64
49	305,78	308,5	27,93	2,92	2,22	15,18	0	74,76	15,56	1,61	48,45	0,00	37,38
50	305,94	308,5	25,64	2,76	2,06	14,54	0	0	14,75	1,46	39,35	0	0

51	306,1	308,5	25,22	2,6	1,9	13,9	0	0	14,17	1,29	34,70	0	0
52	306,18	308,5	24,04	2,52	1,82	13,58	0	0	13,58	1,24	30,39	0	0
53	306,2	308,5	24,6	2,5	1,8	13,5	0	0	13,29	1,24	30,41	0	0
54	306,33	308,5	23,9	2,37	1,67	12,98	0	0	13,22	1,07	27,53	0	0
55	306,67	308,5	24,08	2,03	1,33	11,62	0	0	12,75	0,70	21,28	0	0
56	307,03	308,5	22,85	1,67	0,97	10,18	0	0	11,50	0,41	12,69	0	0
57	307,16	308,5	23,06	1,54	0,84	9,66	0	0	10,19	0,35	8,75	0	0
58	307,3	308,5	24,13	1,4	0,7	9,1	0	0	9,72	0,25	7,25	0	0
59	307,54	308,5	22,45	1,16	0,46	8,14	0	0	9,20	0,12	4,13	0	0
60	307,32	308,5	21,84	1,38	0,68	9,02	0	0	8,33	0,28	4,30	0	0
61	307,37	308,5	23,99	1,33	0,63	8,82	0	0	9,13	0,22	5,96	0	0
62	307,51	308,5	24,08	1,19	0,49	8,26	0	0	8,95	0,13	4,24	0	0
63	307,48	308,5	23,65	1,22	0,52	8,38	0	0	8,44	0,16	3,49	0	0
64	307,72	308,5	22,55	0,98	0,28	7,42	0	0	8,55	0,05	2,33	0	0
65	308,33	308,5	23,65	0,37	-0,33	4,98	0	0	7,67	0,07	1,38	0	0
66	308,39	308,5	21,8	0,31	-0,39	4,74	0	0	5,45	0,14	2,30	0	0
67	308,15	308,5	25,71	0,55	-0,15	5,7	0	0	5,23	0,02	2,08	0	0
68	308,1	308,5	25	0,6	-0,1	5,9	0	0	6,10	0,01	0,37	0	0
69	308,21	308,5	24,69	0,49	-0,21	5,46	0	0	6,28	0,04	0,53	0	0
70	308,35	308,5	19,76	0,35	-0,35	4,9	0	0	5,88	0,10	1,38	0	0
70	308,5	308,5	10,98	0,2	-0,5	4,3	0	0	5,37	0,23	1,86	0	0
B5												-	
Total												1 104,19	

II.3.4. Estimation du volume de l'enrochement des talus

Tableau 59: Estimation du volume de l'enrochement des talus

Fruit du talus amont (H/V) : m1 = 2 Fruit du talus aval (H/V) : m2 = 2 Epaisseur de décapage : d = 20 cm, Largeur en crête : b = 3,5 m, Epaisseur du perré du talus amont : e = 45 cm				Epaisseur de la couche de pose : ep = 10 cm Epaisseur de la couche de pose du talus aval : ea = 20 cm Surface intermédiaire de la zone du déversoir (P12 à P18) : Si = 629,66 m ²		
N° profil	Côte TN (m)	Côte crête de la digue : Zd (m)	Distances intermédiaires : Di (m)	Hauteurs intermédiaires : hi (m) = Zd - TN + d	Longueur transversale intermédiaire e : lt(m) = hi*(1+m ²) ^{0,5}	Surface intermédiaire : Si = (lt _{m-1} +lt _m) *Di/2 (m ²)
P0	308,5	308,5		0,2	0,45	
D1	308,28	308,5	21,49	0,42	0,94	14,90
1	308,26	308,5	30	0,44	0,98	28,85
2	308,12	308,5	25,43	0,58	1,30	29,00
3	307,87	308,5	26,08	0,83	1,86	41,11
4	307,84	308,5	25,26	0,86	1,92	47,73
5	307,86	308,5	25,05	0,84	1,88	47,61
6	307,67	308,5	23,91	1,03	2,30	49,99
7	307,65	308,5	24,42	1,05	2,35	56,79
8	307,63	308,5	23,71	1,07	2,39	56,20
9	307,39	308,5	24,81	1,31	2,93	66,02
10	307,29	308,5	23,93	1,41	3,15	72,77
11	306,67	308,5	22,14	2,03	4,54	85,15
11	306,6	308,5	2,85	2,1	4,70	13,16
12	306,2	307	15	1	2,24	51,99
13	304,43	307	9,38	2,77	6,19	39,54
14	305,14	307	17,19	2,06	4,61	92,83
15	304,4	307	17,33	2,8	6,26	94,17
16	304,31	307	17,33	2,89	6,46	110,25
17	305,57	307	17,33	1,63	3,64	87,58
17	305,04	307	11,44	2,16	4,83	48,48
18	304,76	307,59	5,9	3,03	6,78	34,24
18	304,79	308,5	9,1	3,91	8,74	70,61
19	304,82	308,5	10,78	3,88	8,68	93,89
20	304,79	308,5	20,32	3,91	8,74	176,98

21	304,57	308,5	21,25	4,13	9,23	191,02
22	304,31	308,5	18,5	4,39	9,82	176,22
23	304,82	308,5	18,84	3,88	8,68	174,20
24	305,14	308,5	19,34	3,56	7,96	160,87
25	305,31	308,5	20	3,39	7,58	155,41
26	305,64	308,5	20,75	3,06	6,84	149,63
27	306,42	308,5	21,93	2,28	5,10	130,93
28	307,64	308,5	20,49	1,06	2,37	76,51
29	308,12	308,5	20,1	0,58	1,30	36,85
30	308,5	308,5	18,82	0,2	0,45	16,41
31	308,5	308,5	19,97	0,2	0,45	8,93
32	308,29	308,5	20,51	0,41	0,92	13,99
33	307,98	308,5	20,65	0,72	1,61	26,09
34	307,89	308,5	20,19	0,81	1,81	34,54
35	307,37	308,5	19,41	1,33	2,97	46,44
36	307,45	308,5	19,54	1,25	2,80	56,36
37	307,77	308,5	19,79	0,93	2,08	48,23
38	307,06	308,5	41,38	1,64	3,67	118,90
39	306,3	308,5	18,25	2,4	5,37	82,43
40	306,84	308,5	18,13	1,86	4,16	86,35
41	307,21	308,5	19,23	1,49	3,33	72,02
42	306,68	308,5	19,52	2,02	4,52	76,60
43	306,07	308,5	20,55	2,63	5,88	106,84
44	305,67	308,5	43,44	3,03	6,78	274,89
45	305,43	308,5	22,29	3,27	7,31	157,00
46	305,31	308,5	33,44	3,39	7,58	249,00
47	305,36	308,5	22,37	3,34	7,47	168,32
48	305,56	308,5	25,02	3,14	7,02	181,27
49	305,78	308,5	27,93	2,92	6,53	189,23
50	305,94	308,5	25,64	2,76	6,17	162,83
51	306,1	308,5	25,22	2,6	5,81	151,13
52	306,18	308,5	24,04	2,52	5,63	137,61
53	306,2	308,5	24,6	2,5	5,59	138,07
54	306,33	308,5	23,9	2,37	5,30	130,13
55	306,67	308,5	24,08	2,03	4,54	118,46
56	307,03	308,5	22,85	1,67	3,73	94,52
57	307,16	308,5	23,06	1,54	3,44	82,76
58	307,3	308,5	24,13	1,4	3,13	79,32
59	307,54	308,5	22,45	1,16	2,59	64,26
60	307,32	308,5	21,84	1,38	3,09	62,02
61	307,37	308,5	23,99	1,33	2,97	72,69

62	307,51	308,5	24,08	1,19	2,66	67,84
63	307,48	308,5	23,65	1,22	2,73	63,72
64	307,72	308,5	22,55	0,98	2,19	55,47
65	308,33	308,5	23,65	0,37	0,83	35,70
66	308,39	308,5	21,8	0,31	0,69	16,57
67	308,15	308,5	25,71	0,55	1,23	24,72
68	308,1	308,5	25	0,6	1,34	32,14
69	308,21	308,5	24,69	0,49	1,10	30,09
70	308,35	308,5	19,76	0,35	0,78	18,56
70	308,5	308,5	10,98	0,2	0,45	6,75
B5						
Total : St						6 420,66
Volume du perré amont de la digue (m ³) = (St-Si)*e						2 605,95
Volume de la couche de pose du perré amont (m ³) = (St-Si)*ep						579,10
Volume de la couche de pose du talus aval (m ³) = (St-Si)*ea						1 158,20

II.3.5. Estimation des caractéristiques géométriques de la digue

Tableau 60: Détermination des dimensions de la digue du barrage de Lindi

CALCUL DE LA HAUTEUR DE LA DIGUE			
DONNEES DE BASE			
Désignation	Formules	Unités	Valeurs
Vitesse maximale du vent (source : météo) : U	-	Km/h	13,32
Fetch : f	Plan topographique	Km	1,5
Côte de plan des plus hautes eaux : Z _{PHE}	Plan topographique	m	308
Côte de plan d'eau normale : Z _{PEN}	Plan topographique	m	307
Côte du point le plus bas du TN : Z _{TN}	Plan topographique	m	304,31
Accélération de la pesanteur : g	-	m/s ²	9,81
Hauteur maximale de l'eau : H	Z _{PHE} - Z _{TN}	m	3,69
CALCUL DE LA HAUTEUR DES VAGUES			
Méthode de Mallet et de Pacquant : h ₁	$\frac{1}{2} + \frac{1}{3}\sqrt{f}$	m	0,91
Méthode de Stenvenson : h ₂	$0,75 + 0,34\sqrt{f} - 0,36^4\sqrt{f}$	m	0,77
Méthode de Molitor : h ₃	$0,76 + 0,032\sqrt{Uf} - 0,26^4\sqrt{Uf}$	m	1,11
Hauteur des vagues adoptée : h	Max (h ₁ , h ₂ , h ₃)	m	1,11
CALCUL DE LA VITESSE DE PROPAGATION DES VAGUES			
Formule de Mallet et de Pacquant : V ₁	$\frac{3}{2} + \frac{2}{3}h$	m/s	2,24
Formule de Gaillard : V ₂	1,5 + 2h	m/s	3,72
Vitesse des vagues adoptée : V	Max (V ₁ , V ₂)	m/s	3,72
CALCUL DE LA REVANCHE			
Méthode de Gaillard	$0,75*h + \frac{V^2}{2g}$	m	1,54
Revanche adoptée : R		m	1,2
Hauteur de la digue : E	H + h + R	m	5
CALCUL DE LA LARGEUR EN CRETE			
Méthode de KNAPPEN	$1,65\sqrt{E}$	m	3,56
Méthode de PREECE	$1,1\sqrt{E} + 1$	m	3,46
Largeur en crête adoptée : Lc		m	3,5

Tableau 61: Détermination de l'épaisseur minimale du perré de protection du talus amont

DONNEES DE BASE			
Désignation	Formules	Unités	Valeurs
Vitesse de propagation des vagues : V	1,5 + 2h	m/s	3,72
Pente du talus amont		V/H	1/2
Fetch : f	Plan topographique	Km	1,5
Poids volumique minimal		t/ml	2,5
Hauteur des vagues : h	$0,76 + 0,032\sqrt{Uf} - 0,26^4\sqrt{Uf}$	m	1,11
METHODE DE TENNESSEE VALEY AUTHORITY			
Coefficient : C	F(pente des talus, poids volumique)		0,03
Epaisseur : e ₁	CV ²	cm	43,47
ABAQUES DE USA Army Corps of Engineers			
Epaisseur : e ₂	Abaque	cm	45
Epaisseur minimale adoptée : e		cm	45

II3.6. Estimation du volume du remblai de la digue

➤ Surface de décapage

Tableau 62: Estimation de la surface de décapage

Données de base							
Fruit du talus amont (H/V) : m1 = Fruit du talus aval (H/V) : m2 = 2, Epaisseur de décapage : d = 20 cm, Largeur en crête : b = 3,5 m							
N° profil	Côte TN (m)	Côte crête de la digue : Z _d (m)	Distances intermédiaires : D _i (m)	Hauteurs intermédiaires : h _i (m) = Z _d - TN + d	Largeur en base intermédiaire : L _i (m) = (m1+m2)*h _i + b (m)	Largeur en base moyenne : L _m (m) = (b _{n-1} +b _n)/2 (m)	Surface intermédiaire : S _i = D _i *L _m *CM (m ²)
P0	308.5	308.5		0.2	4.3		
D1	308.28	308.5	21.49	0.42	5.18	4.74	101.86
1	308.26	308.5	30	0.44	5.26	5.22	156.60
2	308.12	308.5	25.43	0.58	5.82	5.54	140.88
3	307.87	308.5	26.08	0.83	6.82	6.32	164.83
4	307.84	308.5	25.26	0.86	6.94	6.88	173.79
5	307.86	308.5	25.05	0.84	6.86	6.9	172.85
6	307.67	308.5	23.91	1.03	7.62	7.24	173.11

Données de base							
Fruit du talus amont (H/V) : m1 = Fruit du talus aval (H/V) : m2 = 2, Epaisseur de décapage : d = 20 cm, Largeur en crête : b = 3,5 m							
N° profil	Côte TN (m)	Côte crête de la digue : Zd (m)	Distances intermédiaires : Di (m)	Hauteurs intermédiaires : hi (m) = Zd - TN + d	Largeur en base intermédiaire : Li (m) = (m1+m2)*hi + b (m)	Largeur en base moyenne : Lm (m) = (bn-1+bn)/2 (m)	Surface intermédiaire : Si = Di*Lm*CM (m ²)
7	307.65	308.5	24.42	1.05	7.7	7.66	187.06
8	307.63	308.5	23.71	1.07	7.78	7.74	183.52
9	307.39	308.5	24.81	1.31	8.74	8.26	204.93
10	307.29	308.5	23.93	1.41	9.14	8.94	213.93
11	306.67	308.5	22.14	2.03	11.62	10.38	229.81
11	306.6	308.5	2.85	2.1	11.9	11.76	33.52
12	306.2	307	15	1	7.5	9.7	145.5
13	304.43	307	9.38	2.77	14.58	11.04	103.5552
14	305.14	307	17.19	2.06	11.74	13.16	226.2204
15	304.4	307	17.33	2.8	14.7	13.22	229.1026
16	304.31	307	17.33	2.89	15.06	14.88	257.8704
17	305.57	307	17.33	1.63	10.02	12.54	217.3182
17	305.04	307	11.44	2.16	12.14	11.08	126.7552
18	304.76	307.59	5.9	3.03	15.62	13.88	81.892
18	304.79	308.5	9.1	3.91	19.14	17.38	158.158
19	304.82	308.5	10.78	3.88	19.02	19.08	205.68
20	304.79	308.5	20.32	3.91	19.14	19.08	387.71
21	304.57	308.5	21.25	4.13	20.02	19.58	416.07
22	304.31	308.5	18.5	4.39	21.06	20.54	379.99
23	304.82	308.5	18.84	3.88	19.02	20.04	377.55
24	305.14	308.5	19.34	3.56	17.74	18.38	355.47
25	305.31	308.5	20	3.39	17.06	17.4	348.00
26	305.64	308.5	20.75	3.06	15.74	16.4	340.30
27	306.42	308.5	21.93	2.28	12.62	14.18	310.97
28	307.64	308.5	20.49	1.06	7.74	10.18	208.59
29	308.12	308.5	20.1	0.58	5.82	6.78	136.28
30	308.5	308.5	18.82	0.2	4.3	5.06	95.23

Données de base							
Fruit du talus amont (H/V) : m1 = Fruit du talus aval (H/V) : m2 = 2, Epaisseur de décapage : d = 20 cm, Largeur en crête : b = 3,5 m							
N° profil	Côte TN (m)	Côte crête de la digue : Zd (m)	Distances intermédiaires : Di (m)	Hauteurs intermédiaires : hi (m) = Zd - TN + d	Largeur en base intermédiaire : Li (m) = (m1+m2)*hi + b (m)	Largeur en base moyenne : Lm (m) = (bn-1+bn)/2 (m)	Surface intermédiaire : Si = Di*Lm*CM (m ²)
31	308.5	308.5	19.97	0.2	4.3	4.3	85.87
32	308.29	308.5	20.51	0.41	5.14	4.72	96.81
33	307.98	308.5	20.65	0.72	6.38	5.76	118.94
34	307.89	308.5	20.19	0.81	6.74	6.56	132.45
35	307.37	308.5	19.41	1.33	8.82	7.78	151.01
36	307.45	308.5	19.54	1.25	8.5	8.66	169.22
37	307.77	308.5	19.79	0.93	7.22	7.86	155.55
38	307.06	308.5	41.38	1.64	10.06	8.64	357.52
39	306.3	308.5	18.25	2.4	13.1	11.58	211.34
40	306.84	308.5	18.13	1.86	10.94	12.02	217.92
41	307.21	308.5	19.23	1.49	9.46	10.2	196.15
42	306.68	308.5	19.52	2.02	11.58	10.52	205.35
43	306.07	308.5	20.55	2.63	14.02	12.8	263.04
44	305.67	308.5	43.44	3.03	15.62	14.82	643.78
45	305.43	308.5	22.29	3.27	16.58	16.1	358.87
46	305.31	308.5	33.44	3.39	17.06	16.82	562.46
47	305.36	308.5	22.37	3.34	16.86	16.96	379.40
48	305.56	308.5	25.02	3.14	16.06	16.46	411.83
49	305.78	308.5	27.93	2.92	15.18	15.62	436.27
50	305.94	308.5	25.64	2.76	14.54	14.86	381.01
51	306.1	308.5	25.22	2.6	13.9	14.22	358.63
52	306.18	308.5	24.04	2.52	13.58	13.74	330.31
53	306.2	308.5	24.6	2.5	13.5	13.54	333.08
54	306.33	308.5	23.9	2.37	12.98	13.24	316.44
55	306.67	308.5	24.08	2.03	11.62	12.3	296.18
56	307.03	308.5	22.85	1.67	10.18	10.9	249.07
57	307.16	308.5	23.06	1.54	9.66	9.92	228.76

Données de base							
Fruit du talus amont (H/V) : m1 = Fruit du talus aval (H/V) : m2 = 2, Epaisseur de décapage : d = 20 cm, Largeur en crête : b = 3,5 m							
N° profil	Côte TN (m)	Côte crête de la digue : Zd (m)	Distances intermédiaires : Di (m)	Hauteurs intermédiaires : hi (m) = Zd - TN + d	Largeur en base intermédiaire : Li (m) = (m1+m2)*hi + b (m)	Largeur en base moyenne : Lm (m) = (bn-1+bn)/2 (m)	Surface intermédiaire : Si = Di*Lm*CM (m ²)
58	307.3	308.5	24.13	1.4	9.1	9.38	226.34
59	307.54	308.5	22.45	1.16	8.14	8.62	193.52
60	307.32	308.5	21.84	1.38	9.02	8.58	187.39
61	307.37	308.5	23.99	1.33	8.82	8.92	213.99
62	307.51	308.5	24.08	1.19	8.26	8.54	205.64
63	307.48	308.5	23.65	1.22	8.38	8.32	196.77
64	307.72	308.5	22.55	0.98	7.42	7.9	178.14
65	308.33	308.5	23.65	0.37	4.98	6.2	146.63
66	308.39	308.5	21.8	0.31	4.74	4.86	105.95
67	308.15	308.5	25.71	0.55	5.7	5.22	134.21
68	308.1	308.5	25	0.6	5.9	5.8	145.00
69	308.21	308.5	24.69	0.49	5.46	5.68	140.24
70	308.35	308.5	19.76	0.35	4.9	5.18	102.36
70	308.5	308.5	10.98	0.2	4.3	4.6	50.51
B5							
Total							17 118.81

➤ **Volume du remblai de la digue**

Tableau 63: Estimation du volume de remblai de la digue

Fruit du talus amont (H/V) : m1 = 2 Fruit du talus aval (H/V) : m2 = 2 Epaisseur de décapage : d = 20 cm, Largeur en crête : Lc = 3,5 m						
N° profil	Côte TN (m)	Côte crête de la digue : Zd (m)	Distances intermédiaires : Di (m)	Hauteurs intermédiaires : hi (m) = Zd - TN + d	Surface intermédiaire : Si (m ²) = (Volume partiel : V (m ³) = (Sn-1 + Sn)*Di/2
P0	308,5	308,5	0	0,2	0,78	
D1	308,28	308,5	21,49	0,42	1,82	27,97
1	308,26	308,5	30	0,44	1,93	56,25
2	308,12	308,5	25,43	0,58	2,70	58,87
3	307,87	308,5	26,08	0,83	4,28	91,09
4	307,84	308,5	25,26	0,86	4,49	110,79
5	307,86	308,5	25,05	0,84	4,35	110,73
6	307,67	308,5	23,91	1,03	5,73	120,48
7	307,65	308,5	24,42	1,05	5,88	141,72
8	307,63	308,5	23,71	1,07	6,03	141,25
9	307,39	308,5	24,81	1,31	8,02	174,32
10	307,29	308,5	23,93	1,41	8,91	202,55
11	306,67	308,5	22,14	2,03	15,35	268,54
11	306,6	308,5	2,85	2,1	16,17	44,91
12	306,2	307	15	1	5,50	162,52
13	304,43	307	9,38	2,77	25,04	143,24
14	305,14	307	17,19	2,06	15,70	350,14
15	304,4	307	17,33	2,8	25,48	356,80
16	304,31	307	17,33	2,89	26,82	453,17
17	305,57	307	17,33	1,63	11,02	327,87
17	305,04	307	11,44	2,16	16,89	159,65
18	304,76	307,59	5,9	3,03	28,97	135,28
18	304,79	308,5	9,1	3,91	44,26	333,19
19	304,82	308,5	10,78	3,88	43,69	474,05
20	304,79	308,5	20,32	3,91	44,26	893,57
21	304,57	308,5	21,25	4,13	48,57	986,32
22	304,31	308,5	18,5	4,39	53,91	947,92
23	304,82	308,5	18,84	3,88	43,69	919,37
24	305,14	308,5	19,34	3,56	37,81	788,07
25	305,31	308,5	20	3,39	34,85	726,56

26	305,64	308,5	20,75	3,06	29,44	666,97
27	306,42	308,5	21,93	2,28	18,38	524,28
28	307,64	308,5	20,49	1,06	5,96	249,30
29	308,12	308,5	20,1	0,58	2,70	87,03
30	308,5	308,5	18,82	0,2	0,78	32,77
31	308,5	308,5	19,97	0,2	0,78	15,58
32	308,29	308,5	20,51	0,41	1,77	26,16
33	307,98	308,5	20,65	0,72	3,56	55,01
34	307,89	308,5	20,19	0,81	4,15	77,77
35	307,37	308,5	19,41	1,33	8,19	119,76
36	307,45	308,5	19,54	1,25	7,50	153,32
37	307,77	308,5	19,79	0,93	4,98	123,54
38	307,06	308,5	41,38	1,64	11,12	333,19
39	306,3	308,5	18,25	2,4	19,92	283,23
40	306,84	308,5	18,13	1,86	13,43	302,31
41	307,21	308,5	19,23	1,49	9,66	221,96
42	306,68	308,5	19,52	2,02	15,23	242,89
43	306,07	308,5	20,55	2,63	23,04	393,22
44	305,67	308,5	43,44	3,03	28,97	1 129,56
45	305,43	308,5	22,29	3,27	32,83	688,73
46	305,31	308,5	33,44	3,39	34,85	1 131,61
47	305,36	308,5	22,37	3,34	34,00	770,09
48	305,56	308,5	25,02	3,14	30,71	809,53
49	305,78	308,5	27,93	2,92	27,27	809,72
50	305,94	308,5	25,64	2,76	24,90	668,79
51	306,1	308,5	25,22	2,6	22,62	599,17
52	306,18	308,5	24,04	2,52	21,52	530,57
53	306,2	308,5	24,6	2,5	21,25	526,08
54	306,33	308,5	23,9	2,37	19,53	487,31
55	306,67	308,5	24,08	2,03	15,35	419,90
56	307,03	308,5	22,85	1,67	11,42	305,84
57	307,16	308,5	23,06	1,54	10,13	248,54
58	307,3	308,5	24,13	1,4	8,82	228,67
59	307,54	308,5	22,45	1,16	6,75	174,79
60	307,32	308,5	21,84	1,38	8,64	168,06
61	307,37	308,5	23,99	1,33	8,19	201,90
62	307,51	308,5	24,08	1,19	7,00	182,89
63	307,48	308,5	23,65	1,22	7,25	168,44
64	307,72	308,5	22,55	0,98	5,35	142,04
65	308,33	308,5	23,65	0,37	1,57	81,82
66	308,39	308,5	21,8	0,31	1,28	31,02

67	308,15	308,5	25,71	0,55	2,53	48,94
68	308,1	308,5	25	0,6	2,82	66,87
69	308,21	308,5	24,69	0,49	2,20	61,91
70	308,35	308,5	19,76	0,35	1,47	36,21
70	308,5	308,5	10,98	0,2	0,78	12,35
B5			1609,48			
TOTAL						24 346,84
TOTAL revêtement de crête (m3)						1 042,64
TOTAL filtre de sable (m3)						1 104,19
TOTAL digue sans filtre et sans revêtement (m3)						22 200,01

Tableau 64 : Estimation du volume du filtre vertical

Epaisseur (m)			0,5
N° profil	Hauteur (m)	Distance (m)	Volume (m3)
5	0,84	25,05	10,52
6	1,03	23,91	12,31
7	1,05	24,42	12,82
8	1,07	23,71	12,68
9	1,31	24,81	16,25
10	1,41	23,93	16,87
11	2,03	22,14	22,47
11	2,1	2,85	2,99
12	1	15	7,50
13	2,77	9,38	12,99
14	2,06	17,19	17,71
15	2,8	17,33	24,26
16	2,89	17,33	25,04
17	1,63	17,33	14,12
17	2,16	11,44	12,36
18	3,03	5,9	8,94
18	3,91	9,1	17,79
Total		265,77	237,11

II3.7. Dimensionnement des bajoyers

➤ Estimation des caractéristiques et des efforts

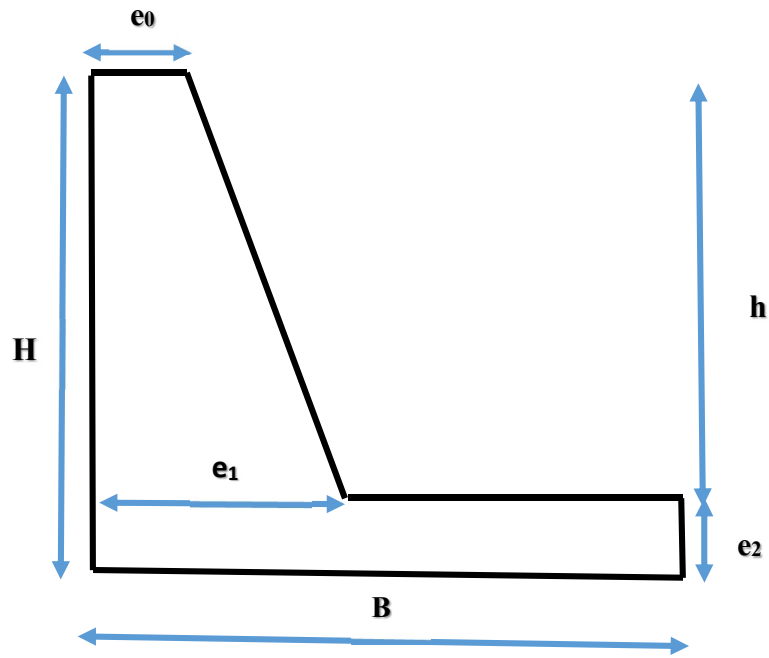


Figure 15 : Prédimensionnement du bajoyer

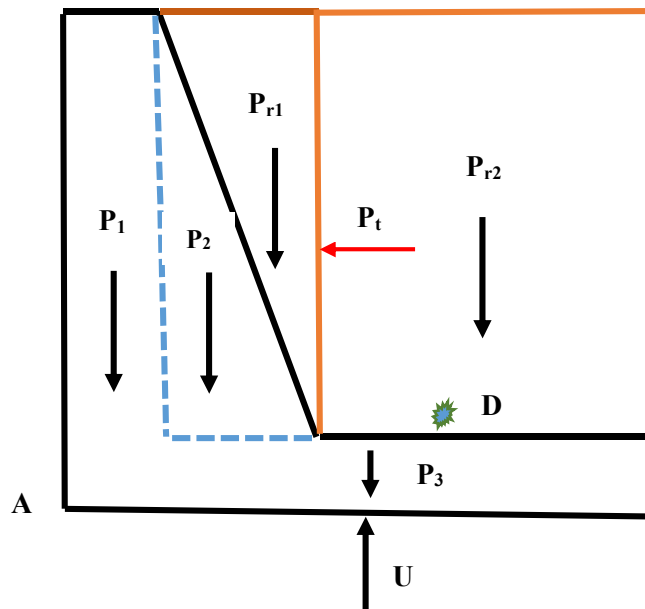


Figure 16 : Estimation des efforts sur le bajoyer

Tableau 65: Estimation des caractéristiques géométriques du bajoyer

Désignation	Unité	Valeurs	Valeurs retenues
I. DONNEES DE BASE			
Poids volumique du béton : Y_b	kN/m ³	25	25
Poids volumique de la terre : Y_t	kN/m ³	22	22
l'indice de vide : $Y_v = (1 - Y_t / 26,5) * 100$	%	16,98	16,98
Charge maximale de l'eau : H_e	m	0,71	0,71
Poids volumique de l'eau : Y_w	KN/m ³	12	12
Accélération de la pesanteur : g	N/m ²		
Angle de frottement interne des sédiments (sable) : Φ	Degré	30	30
$K_a = (1 - \sin\Phi) / (1 + \sin\Phi)$		0,33	0,33
Coefficient de stabilité au glissement	minimum	1,5	1,5
Coefficient de stabilité au renversement'	minimum	1,5	1,5
Côte terrain naturel : Z_{TN}	m	304,31	304,31
Côte digue	m	308,5	308,5
Côte des plus hautes eaux	m	308	308
Côte normale des eaux	m	307	307
II. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES			
Il s'agit d'un pré dimensionnement de l'épaisseur et de la largeur de la semelle			
Côte radier fondation : $Z_f = Z_{TN} - 1$	m	303,31	
Hauteur maximale du bajoyer : $H_{max} = Z_{PHE} - Z_f$	m	5,19	5,20
Epaisseur crête bajoyer : $e_0 = H/24$	m	0,22	0,2
Epaisseur du mur à la base bajoyer : $e_1 = H/12$	m	0,43	0,45
Epaisseur de la semelle : $e_2 = H/12$	m	0,43	0,45
Largeur base du mur bajoyer : $b = 0,2 + 0,45H$	m	2,54	4,45
La valeur de la largeur de la semelle $b = 2,32$ m arrondi à 2,5 m ne satisfait pas les conditions de stabilité, Alors, nous allons procéder de façon itérative pour déterminer la largeur de la semelle qui satisfait les conditions de stabilité des murs de bajoyer			
Côte radier semelle : $Z_s = Z_f + 0,5$	m	303,81	303,81
Hauteur mur bajoyer au-dessus de la semelle : $h = Z_{digue} - Z_s$	m	4,69	4,69
III. EFFORTS STABILISANTS			
Poids linéaire du mur bajoyer partie rectangulaire : $P_1 = e_0 * h * Y_b$	kN/ml	23.45	23.45
Bras de levier/A : $C_1 = e_0/2$	m	0.10	0.1
Bras de levier/D : $C_1' = b/2 - e_0/2$	m	2.13	2.13
Poids linéaire du mur bajoyer partie triangulaire : $P_2 = (e_1 - e_0) * h * Y_b / 2$	kN/ml	14.66	14.66
Bras de levier/A : $C_1 = e_0 + (e_1 - e_0) / 3$	m	0.28	0.28
Bras de levier/D : $C_1' = b/2 - C_1$	m	1.94	1.94
Poids linéaire de la semelle du bajoyer : $P_3 = b * e_2 * Y_b$	kN/ml	50.06	50.06
Bras de levier/A : $C_1 = b/2$	m	2.23	2.23

Bras de levier/D : $C1' = b/2$	m	0	0
Poids linéaire du remblai sur la semelle partie triangulaire : $Pr1 = (e1-e0)*h*Yt/2$	kN/ml	12.90	12.90
Bras de levier/A : $C1 = e0 + 2*(e1-e0)/3$	m	0.37	0.37
Bras de levier/D: $C1' = b/2 -C1$	m	1.86	1.86
Poids linéaire du sur la semelle partie rectangulaire : $Pr2 = h*(b-e1)*Yt$	kN/ml	412.72	412.72
Bras de levier/A : $C1 = b- (b-e1)/2$	m	2.45	2.45
Bras de levier/D : $C1' = b/2 -(b-e1)/2$	m	0.23	0.23
IV, EFFORTS RENVERSANTS			
Poussée des terres : $Pt = h^2*Yt*Ka/2$	kN/ml	80,65	80,65
Bras de levier/A : $C1 = h/3$	m	1,56	1,56
Bras de levier/D : $C1' = h/3$	m	1,56	1,56
Sous pressions hydrauliques : $U = Yw*He*b$	kN/ml	37,99	37,99
Bras de levier/A : $C1 = b/2$	m	2,23	2,23
Bras de levier/D : $C1' = 0$	m	0	0

➤ **Calcul de stabilité du bajoyer**

Tableau 66: Etude de la stabilité du bajoyer

Efforts	Intensité des efforts (kN/ml)		Bras de levier (m)		Moments / A en KN.m		Moments / D en KN.m	
	Horizontal	Vertical	A	D	Stabilisant	Renversant	Stabilisant	Renversant
P1		23,45	0,10	2,13	2,35		49,83	
P2		14,66	0,28	1,94	4,15		28,46	
P3		50,06	2,23		111,39			
Pr1		12,90	0,37	1,86	4,73		23,97	
Pr2		412,72	2,45	0,23	1011,16		92,86	
Pt	-80,65		1,56	1,56	0,00	126,09		126,09
U		-37,99	2,23	0	84,54			
Bilan des efforts	-80,65	475,79			1218,32	126,09	195,12	126,09
I. VERIFICATION DE LA STABILITE AU RENVERSEMENT								
Somme des moments renversants par rapport à A : Mr(A)							126,09	
somme des moments stabilisant par rapport à A : Ms(A)							1218,32	
Coefficient de sécurité : CA = Ms(A)/Mr(A)							9,66	≥ 1,5
Somme des moments renversants par rapport à D : Mr(D)							126,09	
somme des moments stabilisant par rapport à D : Ms(D)							195,12	
Coefficient de sécurité : CD = Ms(D)/Mr(D)							1,55	≥ 1,5
Conclusion : la stabilité au renversement est assurée								
II. VERIFICATION DE LA STABILITE AU GLISSEMENT								
La condition suivante suivant doit être remplie : $S = N \cdot \tan\theta / T > 1$								
Avec : N = résultante des forces verticales,							475,79	kN
T = résultante des forces horizontales,							80,65	kN
Tanθ = angle de frottement béton-roches tendres							0,65	
Alors S =							3,49	
Conclusion : S > 1 donc la stabilité au glissement est assurée								
III, VERIFICATION DE LA RGLE DU TIERS CENTRAL								
On calcule le moment des actions par rapport au point D, centre de la section de la semelle. Si N est la résultante des forces verticales on doit avoir $M/N < b/6$								
$M = Ms(D) - Mr(D)$							321,21	kN,m
N							475,79	kN
B/6							0,74	
Alors M/N =							0,68	
Conclusion : M/N < B/6 donc la règle du tiers central est vérifiée.								

II.4. Evacuateur de crue et ouvrages annexes

II.4.1. Dimensionnement de l'évacuateur de crue

➤ Calcul de la longueur déversante

Tableau 67: Estimation de la longueur déversante (déversoir poids)

Données de base						
Temps de base de la crue décennale : Tb10 (s)	Débit de projet : Qp (m3/s)	Coefficient de débit : m	g	Temps de montée de la crue décennale : Tm10 (s) = temps de base/3	Superficie du plan d'eau normale : S (m2)	Lame d'eau sur le déversoir : h (m)
69 720	230	0,4	9,81	23 240	1 441 700	1
Calcul de la longueur déversante : L						
N°	$L(m) = \frac{Qp}{m \cdot h^{2/3} \cdot \sqrt{2g}}$	$X_0 = \frac{g \cdot L^2 \cdot Qp \cdot Tm10^3 \cdot m^2}{S^3}$	LOG(X0)	Coefficient de laminage : β (lu sur abaque)	Qe (m3/s) = $\beta \cdot Qp$	L2 (m)
1	129,81	25,48	1,06	0,83	190,90	107,74
2	107,74	15,55	0,90	0,83	190,90	107,74
3	107,74	17,55	0,90	0,83	190,90	107,74
4	107,74	17,55	0,90	0,83	190,90	107,74
Valeurs retenues					191	110

Tableau 68 : Estimation de la longueur déversante (radier submersible)

Données de base						
Temps de base de la crue décennale : Tb10 (s)	Débit de projet : Qp (m3/s)	Coefficient de débit : m	g	Temps de montée de la crue décennale : Tm10 (s) = temps de base/3	Superficie du plan d'eau normale : S (m2)	Lame d'eau sur le déversoir : h (m)
69 720	230	0,4	9,81	23 240	1 441 700	0,65
Calcul de la longueur déversante : L						
N°	$L(m) = \frac{Qp}{m \cdot h^{2/3} \cdot \sqrt{2g}}$	$X_0 = \frac{g \cdot L^2 \cdot Qp \cdot Tm10^3 \cdot m^2}{S^3}$	LOG(X0)	Coefficient de laminage : β (lu sur abaque)	Qe (m3/s) = $\beta \cdot Qp$	L2 (m)
1	247,71	92,79	1,97	0,83	190,90	205,60
2	205,60	63,92	1,81	0,83	190,90	205,60
3	205,60	63,92	1,81	0,83	190,90	205,60
4	205,60	63,92	1,81	0,83	190,90	205,60
Valeurs retenues					191	205

➤ Estimation des caractéristiques et des efforts

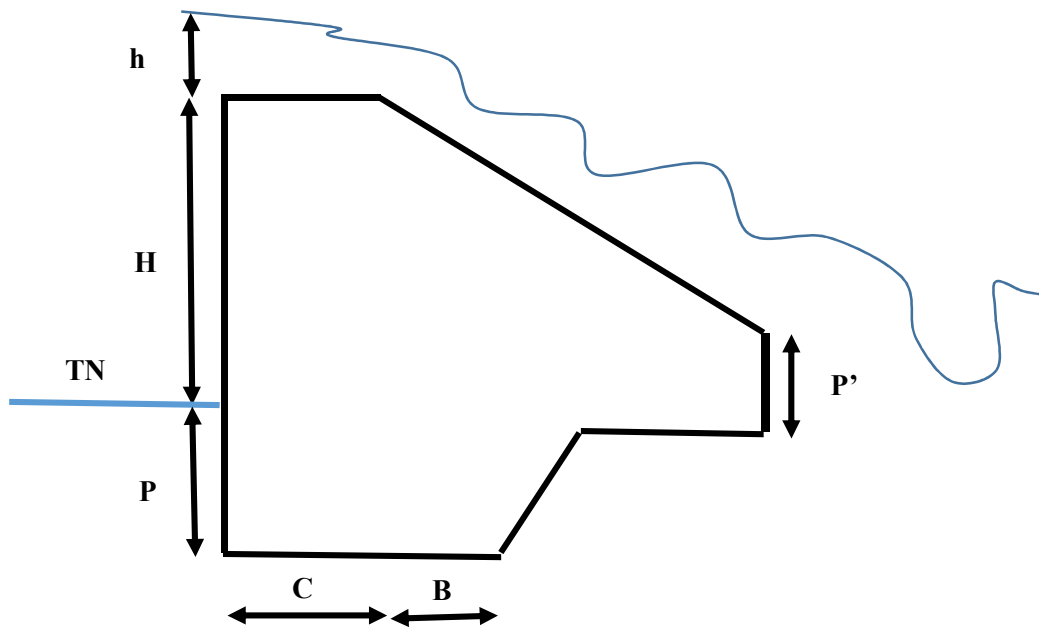


Figure 17 : Prédimensionnement du déversoir poids

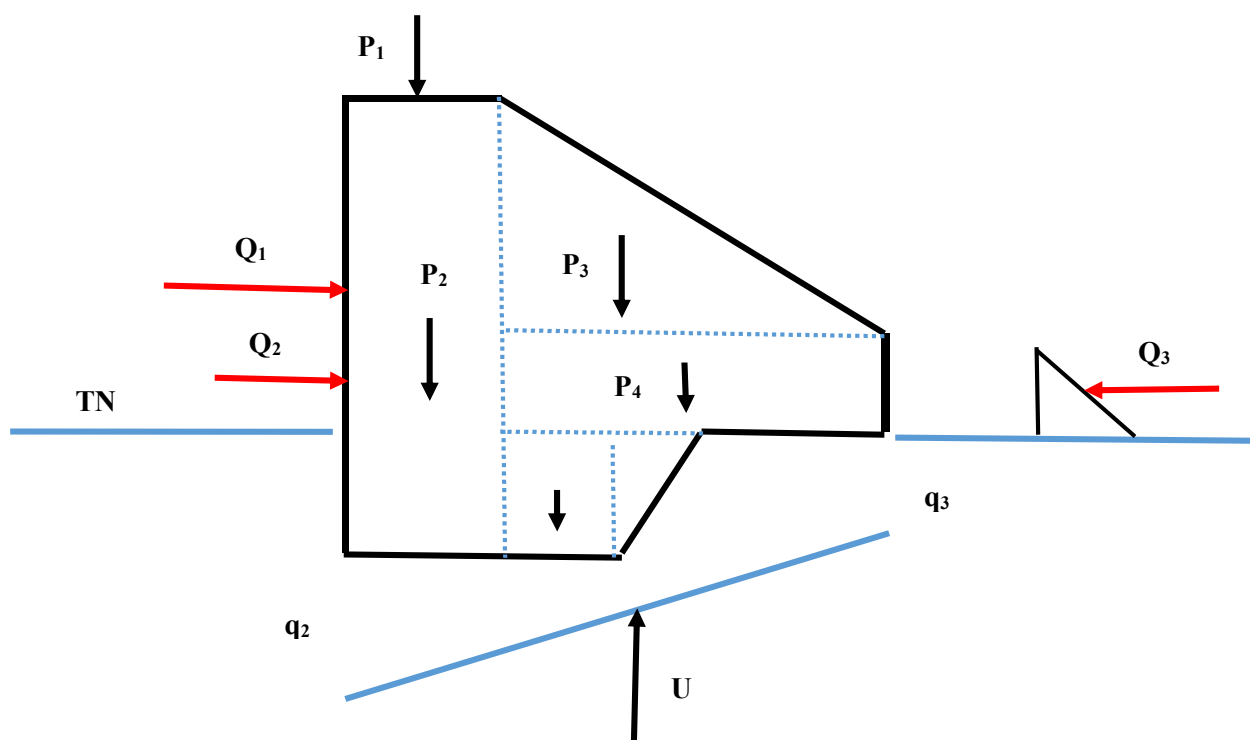


Figure 18 : Estimation des efforts sur le déversoir poids

Tableau 69 : Estimation des caractéristiques géométriques du déversoir voile

Désignation	Unité	Valeurs
I, DONNEES DE BASE		
Poids volumique du béton : Y_b	kN/m ³	25
Poids volumique de la terre : Y_t	kN/m ³	22
Poids volumique de l'eau : Y_w	KN/m ³	12
Coefficient de stabilité au glissement : c	minimum	1,5
Coefficient de stabilité au renversement : c'	minimum	1,5
Épaisseur des sédiments au pied du déversoir : h'	m	0,5
Angle de frottement interne des sédiments (rapport géotechnique) : Φ	Degré	4
$K_a = (1 - \sin\Phi) / (1 + \sin\Phi)$		0,87
Côte terrain naturel : Z_{TN}	m	304,31
Côte du seuil déversant : Z_{PEN}	m	307
Côte des plus hautes eaux : Z_{PHE}	m	308
$q_1 = Y_w * h$	kN/ml	12
$q_2 = Y_w * (h + H)$	kN/ml	44,28
$q_3 = Y_w * h''$	kN/ml	24,6
II, CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES		
Hauteur du seuil sur le TN : $H = Z_{PEN} - Z_{TN}$	m	2,69
Lame d'eau déversante : h	m	1
Largeur en crête : C	m	0,3
Largeur en base du mur déversant : B	m	2,5
Épaisseur de la parafouille rectangulaire : P'	m	1,2
Épaisseur de la parafouille amont : P	m	2,5
Hauteur d'eau dans le bassin : h'' (cf : Y2 dans calcul du bassin de dissipation)	m	2,05
Grande base de l'assise trapézoïdale : b	m	1,8
Pétite base de l'assise trapézoïdale : e	m	0,6
III, EFFORTS STABILISANTS		
Poids linéaire de la lame d'eau déversante : $P_1 = C * h * Y_w$	kN/ml	4,8
Bras de levier/A : $C_1 = B + C/2$	m	2,7
Bras de levier/D : $C_1' = B/2 + C/2$	m	1,45
Poids linéaire du mur déversant rectangulaire : $P_2 = C * (H + P) * Y_b$	kN/ml	38,93
Bras de levier/A : $C_1 = B + C/2$	m	2,7
Bras de levier/D : $C_1' = B/2 + C/2$	m	1,45

Poids linéaire du coursier triangulaire : P3 = $B \cdot H \cdot Y_b / 2$	kN/ml	84,06
Bras de levier/A : $C1 = B - B/3 = 2B/3$	m	1,67
Bras de levier/D : $C1' = (B + C)/2 - (C + B/3)$	m	0,27
Poids linéaire de l'assise rectangulaire : P4 = $Y_b \cdot B \cdot P'$	kN/ml	75
Bras de levier/A : $C1 = B/2$	m	1,25
Bras de levier/D : $C1' = D$	m	0
Poids linéaire de la partie rectangulaire de l'assise trapézoïdale : P5 = $Y_b \cdot e \cdot (P - P')$	kN/ml	19,5
Bras de levier/A : $C1 = B - e/2$	m	2,2
Bras de levier/D : $C1' = B/2 - C/2$	m	1,1
Poids linéaire de la partie triangulaire de l'assise trapézoïdale : P6 = $Y_b \cdot (b - e) \cdot (P - P') / 2$	kN/ml	19,5
Bras de levier/A : $C1 = B - (e + (b - e)/3)$	m	2
Bras de levier/D : $C1' = B/2 - (e + (b - e)/3)$	m	0,25
IV, EFFORTS RENVERSANTS		
Poussée des eaux sur le seuil amont : Q1 = $(q1 + q2) \cdot H / 2$	kN/ml	75,70
Bras de levier/A : $C1 = H \cdot (H + 3h) / (3 \cdot (H + 2h))$	m	1,09
Bras de levier/D : $C1' = C1$	m	1,09
Poussée des terres : Q2 = $h'^2 \cdot Y_t \cdot K_a / 2$	kN/ml	2,39
Bras de levier/A : $C1 = h'/3$	m	0,68
Bras de levier/D : $C1' = h'/3$	m	0,68
Poussée des eaux sur le seuil aval : Q3 = $Y_w \cdot h''^2 / 2$	kN/ml	25,22
Bras de levier/A : $C1 = h''/3$	m	0,68
Bras de levier/D : $C1' = h''/3$	m	0,68
Sous pressions hydrauliques : U = $(H + h) \cdot (q2 + q3) / 2$	kN/ml	96,43
Bras de levier/A : $C1 = (B + C) \cdot (q2 + 2 \cdot q3) / (3 \cdot (q2 + q3))$	m	1,27
Bras de levier/D : $C1' = (B - C) \cdot (3h + H) / (6(2h + H))$	m	0,44

➤ **Etude de la stabilité du déversoir poids**

Tableau 70 : Etude de la stabilité du déversoir poids

Efforts	Intensité des efforts (kN/ml)		Bras de levier (m)		Moments / A en KN,m		Moments / D en KN,m	
	Horizontal	Vertical	A	D	Stabilisant	Renversant	Stabilisant	Renversant
P1		3.6	2,7	1,45	9,54		5,04	
P2		38,93	2,7	1,45	103,15		54,50	
P3		84,06	1,67	0,23	140,10		22,42	
P4		75	1,25	0	93,75			
P5		19,5	2,2	1,05	42,9		21,45	
P6		19,5	2	0,25	29,25		4,88	
Q1	75,70		1,09	1,09		82,35		82,35
Q2	2,39		0,92	0,17		5,72		0,4
Q3	-25,22		0,68	0,68		17,23		17,23
U		-96,43	1,27	0,42	122,15		42,41	
Bilan des efforts	52,87	144,16			540,84	105,30	151,17	99,98
I. VERIFICATION DE LA STABILITE AU RENVERSEMENT								
Somme des moments renversants par rapport à A : Mr(A)							105,30	
somme des moments stabilisant par rapport à A : Ms(A)							540,84	
Coefficient de sécurité : CA = Ms(A)/Mr(A)							5,14	≥ 1,5
Somme des moments renversants par rapport à D : Mr(D)							99,98	
somme des moments stabilisant par rapport à D : Ms(D)							151,17	
Coefficient de sécurité : CD = Ms(D)/Mr(D)							1,51	≥ 1,5
Conclusion : la stabilité au renversement est assurée								
II. VERIFICATION DE LA STABILITE AU GLISSEMENT								
La condition suivante suivant doit être remplie : $S = N \cdot \tan\theta / T > 1$								
Avec : N = résultante des forces verticales,							144,16	kN
T= résultante des forces horizontales,							52,87	kN
Tanθ = angle de frottement béton-roches tendres							0,65	
Alors S =							1,77	
Conclusion : S > 1 donc la stabilité au glissement est assurée								

III. VERIFICATION DE LA REGLE DU TIERS CENTRAL

On calcule le moment des actions par rapport au point D, centre de la section de la semelle,
Si N est la résultante des forces verticales on doit avoir $M/N < (B + C)/6$

$M = Ms(D) - Mr(D)$	51,20	KN.m
N	144,16	kN
M/N	0,4	
$(B+C)/6 =$	0,5	

Conclusion : $M/N < B/6$ donc la règle du tiers central est vérifiée.

VERIFICATION DE LA STABILITE AU POINCONNEMENT

Profondeur d'encastrement : D = P	m	2,5
Largeur en base : B' = C+B		2,8
Nc		6,19
Nq		1,43
Na		0,34
C (rapport géotechnique)	kN/m ²	43,40
Capacité portante du sol : $qd = C*Nc + Yt*D*Nq + 0,5*Yt*B'*Na$	kN/m ²	357,77
Contrainte maximale imposée à la fondation du sol : $\sigma_{max} = N*(1+6e/B')/B'$	kN/ml	99,32
Coefficient de sécurité au poinçonnement $c = qd/\sigma_{max}$		3,95

Conclusion : $C > 1,5$ donc la stabilité au poinçonnement est vérifiée.

Tableau 71 : Données de base de calcul du déversoir en radier submersible

Désignation	Unité	Valeurs
I. DONNEES DE BASE		
Etat de fissure : fissuration peu préjudiciable (FPP)		
Poids volumique du béton : γ_b	kN/m ³	25
Poids volumique de l'eau : γ_w	kN/m ³	12
Résistance caractéristique du béton : fc28	MPa	25
Résistance caractéristique de l'acier : Fe 500 HA	MPa	500
Hauteur de lame d'eau déversante : h'	m	0.95
I.3. Pré dimensionnement de la dalle		
Petite dimension : lx	m	3.2
Grande dimension : ly	m	5.1
Epaisseur : h	m	0.35
$lx/ly = \alpha$		0.63
Conclusion : on a $0.4 \leq \rho \leq 1$ donc la dalle porte dans 2 sens		
Charges permanentes : G = Pd	kN/m ²	8.75
Poids propre de la dalle : Pd = e*γ_b	kN/m ³	8.75
Charges d'exploitation : Q = q + Pw	kN/m ²	16.4
Action due aux véhicules ($30kN \leq \rho \leq 160kN$) (source EUROCODE2) : q	kN/m ³	5
Poids de l'eau déversante : Pw = γ_w*h'	kN/m ²	11.4
Résistance caractéristique du béton à la traction : ftj = 0,6 + 0,06*fc28	MPa	2.1
fbu = 0,85*fc28/(0γ_b)	MPa	14.2
Contrainte limite de calcul : $\sigma_{bc} = 0.6*fc28$	MPa	15
Résistance de calcul de l'acier : fed = fe/γ_s	MPa	435
b0	m	1
Enrobage : e (BAEL)	m	0.05
d = h-e	m	0.3

Tableau 72 : Estimation des dimensions de la dalle du radier submersible

Désignation	Unité	Valeurs	
		ELS	ELU
II. ESTIMATION DES MOMENTS			
Charges totales : $P = G + Q$ (ELS) = $1,35G + 1,5Q$ (ELU)	kN/m ²	25.15	36.4125
μ_x (BAEL annexe E.3)		0.0824	0.0771
μ_y (BAEL annexe E.3)		0.5084	0.2214
Moment fléchissant maximal dans la direction X : $M_{ox} = \mu_x + P \cdot l_x^2$	kN.m	257.62	372.94
Moment fléchissant maximal dans la direction Y : $M_{oy} = \mu_y + M_{ox}$	kN.m	258.13	373.16
II. ESTIMATION DES MOMENTS DANS LE SENS DE LA PETITE PORTEE : l_x			
II.1. Cas 1			
Moment en travée : $M_t = 0,85M_{ox}$	kN.m	218.98	317.00
Moment en travée de rive : $M_{tr} = M_{ox}$	kN.m	257.62	372.94
Moment sur appui : $M_a = 0,4M_{ox}$	kN.m	103.05	149.18
Moment sur appui de rive : $M_{ar} = 0,15M_{ox}$	kN.m	38.64	55.94
II.1. Cas 2			
Moment en travée : $M_t = 0,75M_{ox}$	kN.m	193.21	279.71
Moment en travée de rive : $M_{tr} = 0,85M_{ox}$	kN.m	218.98	317.00
Moment sur appui : $M_a = 0,50M_{ox}$	kN.m	128.81	186.47
Moment sur appui de rive : $M_{ar} = 0,30M_{ox}$	kN.m	77.29	111.88
II. ESTIMATION DES MOMENTS DANS LE SENS DE LA GRANDE PORTEE : l_y			
II.1. Cas 1			
Moment en travée : $M_t = 0,85M_{oy}$	kN.m	219.41	317.19
Moment en travée de rive : $M_{tr} = M_{oy}$	kN.m	258.13	373.16
Moment sur appui : $M_a = 0,4M_{ox}$	kN.m	103.05	149.18
Moment sur appui de rive : $M_{ar} = 0,15M_{ox}$	kN.m	38.64	55.94
II.1. Cas 2			
Moment en travée : $M_t = 0,75M_{oy}$	kN.m	193.60	279.87
Moment en travée de rive : $M_{tr} = 0,85M_{oy}$	kN.m	219.41	317.19
Moment sur appui : $M_a = 0,50M_{ox}$	kN.m	128.81	186.47
Moment sur appui de rive : $M_{ar} = 0,30M_{ox}$	kN.m	77.29	111.88
III. ESTIMATION DE LA SECTION DES ACIERS			

Le calcul s'effectue en flexion simple			
III.1. Aciers dans le sens de lx : Atx			
Moment maximal : $M_{max} = \max(M_t, M_{tr}, M_a, M_{ar})$	kN.m	257.62	372.94
Estimation du moment réduit : $\mu = M_{max}/(b_o \cdot d^2 \cdot f_{bu})$	kN.m	0.20	0.29
$\alpha_u = 1,25 \cdot (1 - \text{racine}(1 - 2 \cdot \mu))$		0.29	0.44
$Z = d(1 - 0,4 \cdot \alpha_u)$	m	0.27	0.25
$A_{tx} = M_{max}/(Z \cdot f_{ed})$	cm ² /m	22.29	34.78
III.2. Aciers dans le sens de ly : Aty			
Moment maximal : $M_{max} = \max(M_t, M_{tr}, M_a, M_{ar})$	kN.m	258.13	373.16
Estimation du moment réduit : $\mu = M_{max}/(b_o \cdot d^2 \cdot f_{bu})$	kN.m	0.20	0.29
$\alpha_u = 1,25 \cdot (1 - \text{racine}(1 - 2 \cdot \mu))$		0.29	0.45
$Z = d(1 - 0,4 \cdot \alpha_u)$	m	0.28	0.26
$A_{ty} = M_{max}/(Z \cdot f_{ed})$	cm ² /m	21.53	32.40
III.3. Section minimale d'acier			
Suivant la direction ly : $A_{miny} = 6h$	cm ² /m	2.1	2.1
$A_{ty} > A_{min y}$		OK	OK
Suivant la direction lx : $A_{minx} = (3 - \alpha) \cdot A_{miny}/2$	cm ² /m	2.49	2.49
$A_{ty} > A_{min x}$		OK	OK
III.4. Choix des aciers			
Diamètre des armatures : $\emptyset \leq h/10 = 35$	mm	25	25
Espacement minimum dans le sens de lx : $St_x \leq \min(3h, 33 \text{ cm})$	cm	33	33
Prendre :		9HA25 (44,15cm²)	
Espacement minimum dans le sens de ly : $St_y \leq \min(4h, 45 \text{ cm})$	cm	45	
Prendre :		7HA25 (34,36cm²)	

Tableau 73 : Estimation des crues de sécurité

Désignation	Crête du déversoir	Mur parapet
Charge (m)	1,5	2
Longueur déversante : L (m)	205	205
Coefficient de débit : m	0,4	0,4
Débit de sécurité : $Q \text{ (m}^3/\text{s)} = m \cdot L \cdot (2g)^{0,5} \cdot h^{1,5}$	667,27	1027,33

II.4.2. Choix du type de bassin de dissipation

Tableau 74: Choix du type de bassin de dissipation

Désignation	Unité	Valeur
Côte la plus basse du terrain naturel : Z_{TN}	m	304,31
Côte du plan d'eau normal : Z_{PEN}	m	307
Longueur déversante : L	m	205
Coefficient de débit : m	m	0,4
Intensité de la pesanteur : g	m/s^2	9,81
Lame d'eau déversante (cf, la simulation de la crue centennale) : h	m	0,65
Débit maxi évacué (cf, la simulation de la crue centennale) = Q_{maxe}	m^3/s	190,90
Débit spécifique : $Q_s = Q_{maxe}/L$	m^3s/ml	0,90
Pelle : $H_0 = Z_{PEN} - Z_{TN}$	m	4
1, Calcul de la profondeur nominale par la méthode de la débitance : Y_n		
Coefficient de Manning Strickler : K_s		33
Largeur au plafond : b	m	30
Fruit des berges : m'		1
Pente moyenne du chenal : I		0,0015
Profondeur nominale : Y_n	m	2,63
Surface mouillée : $S(Y_n) = Y_n*(b+m*Y_n)$	m^2	85,88
Périmètre mouillé : $P(Y_n) = b + 2Y_n*(1+m^2)^{0,5}$	m	37,44
$D(Y_n) = K_s*S^{5/3}*P^{-2/3}$		4 929,02
$Q_{maxe}/Racine(I)$		4 929,02
Convergence = $D(Y_n) - Q_{maxe}/\sqrt{I}$		0
2, Calcul de la profondeur de la fosse de dissipation : D		
Messieurs Grésillon et Lahaye proposent un abaque permettant de déterminer l'enfoncement de la fosse de dissipation (D) et de la hauteur de la lame d'eau au-dessus du seuil (h_0/H_0) :		
Y_n/H_0		0,66
h/H_0		0,24
Le croisement de ces deux points sur l'abaque correspond à une valeur : $a = D/H_0$		
Profondeur : $D = a*H_0$	m	0,50
Nous retenons D	m	0,50
3, Les caractéristiques d'entrées du réssaut		

Désignation	Unité	Valeur
Vitesse au-dessus du seuil : $V_0 = Qs/h$	m/s	1,43
Ligne d'eau : $H_e = h + V_0^2/2 \cdot g$	m	0,75
Hauteur de chute : $H = D + H_0$	m	3,19
Profondeur d'eau à l'entrée du bassin :	m	
Itération pour trouver d'eau à l'entrée du bassin par la méthode de la valeur cible		
Y1	m	0,06
$Y1 = Qs/(2g(0,9 \cdot (H+h+V_0^2/2g) - Y1))^{0,5}$	m	0,06
Convergence		0,00
Par itération on trouve Y ₁	m	0,15
Vitesse à l'entrée du bassin : $V_1 = Qs/Y_1$	m/s	6
Le nombre de Froude : $Fr = V_1/(g \cdot Y_1)^{0,5}$		8,12
4, Les caractéristiques de sortie du ressaut		
Profondeur d'eau conjuguée à la fin du ressaut (sortie du bassin): $Y_2 = (Y_1/2) \cdot ((1+8Fr^2)^{0,5} - 1)$	m	0,65
Vitesse à la sortie du bassin : $V_2 = Qs/Y_2$	m/s	1,42
La condition pour que le ressaut ne quitte pas le bassin de dissipation est la suivante: $Y_2 < Y_n + D$		
Dans notre cas: $Y_n + D$	m	3,13
Donc $Y_2 < Y_n + D$ et la condition est bien remplie		
5, Choix du type de bassin de dissipation et des caractéristiques		
Il y a différents types de bassins suivant les valeurs de Fr et v ₁		
Fr1 = 9,12	>	4,5
v1 (m/s) = 6	≤	15
Conclusion : ces conditions nous amène à choisir le bassin de type II, (Cf, Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale)		

II.4.3. Dimensionnement du bassin de dissipation

Tableau 75 : Dimensionnement du bassin de dissipation

Désignation	Unités	Valeur	Valeur adoptée
1, Longueur du bassin de dissipation			
Nombre de Froude : Fr		8,12	8,12
Y_1	m	0,10	0,2
Y_2	m	2,05	2,05
Largeur du déversoir : L_{dev}	m	205	205
Sur l'abaque $L/Y_2 = a$		2,8	2,78
Longueur du bassin : $L = a*Y_2$	m	1,83	2,5
2, Blocs de chutes			
Hauteur $h_1 = Y_1$	m	0,20	0,2
Largeur : $lc = Y_1$	m	0,20	0,20
Espacement : $e = Y_1$	m	0,20	0,20
Longueur : $Lc = 2*Y_1$	m	0,4	0,4
Distance entre bajoyer et blocs de chutes : $d' = 0,5*Y_1$	m	0,10	0,10
Nombre : $n = (L_{dev}-2d')/(e + lc)$		512	512
3, Blocs chicanes			
Sur l'abaque $h_2/Y_1 = c$		1,76	1,76
Hauteur : $h_2 = c*Y_1$	m	0,35	0,35
Largeur : $lc' = 0,75*h_2$	m	0,26	0,25
Longueur : $L'c = 2*Y_1$	m	0,40	0,45
Espacement : $e' = 0,75*h_2$	m	0,26	0,25
Epaisseur en crête : $e_{crete} = 0,2*h_2$	m	0,07	0,10
Pente aval	1H/1V	1,00	1,00
Distance entre bajoyer et blocs de chicanes : $d'' = 0,375*h_2$	m	0,13	0,15
Nombre : $n' = (L_{dev}-2d'')/(e' + lc')$		409	409
Distance entre blocs de chutes et blocs de chicanes : $d = 0,8*Y_2$	m	0,6	0,6
4, Seuil terminal			
Sur l'abaque $h_4/Y_1 = f$		1,8	1,8
Hauteur par rapport au niveau aval du TN : $h_4 = f*Y_1$	m	0,27	0,35
Epaisseur en crête: e'_{crete}	m	0,1	0,1
Pente amont	1V/2H	0,5	0,5
Epaisseur en base : $e_{base} = e'_{crete} + 2*h_4$	m	0,64	0,65
5, Protection aval du bassin de dissipation			

Désignation	Unités	Valeur	Valeur adoptée
Nature des sols : sols argileux dans le lit mineur			
Vitesse de début d'entraînement : $0,8 < V_e < 1,2$ (Cf, cours de barrage de Dr KARAMBIRI)	m/s	1	
Diamètre minimum des enrochements nécessaires (sur l'abaque) : $D_{\text{enrochement}}$	m	0,1	
Epaisseur de la couche d'enrochement : $E_{\text{enrochement}} \geq 3 * D_{\text{enrochement}}$ (Cf, cours de barrage de Dr KARAMBIRI)	m	0,30	0,3
Longueur de protection : $L_{\text{protection}} \geq 2 * L$ (Cf, cours de barrage de Dr KARAMBIRI)	m	4,20	10

II.4.4. Dimensionnement de l'ouvrage de prise

Tableau 76: Dimensionnement de l'ouvrage de prise

Désignation	Unité	Valeurs
I, Détermination de la longueur (L) de la conduite		
Largeur en crête de la digue : L_c	m	3,5
Fruit du talus amont	H/V	2
Fruit du talus aval	H/V	2
Cote du terrain naturel : Z_{TN}	m	304,31
Cote crête de la digue : $Z_{\text{crête}}$	m	308
Côte au plan d'eau normale : Z_{PEN}	m	307
Largeur en base de la digue : $B = L_c + (m_1 + m_2) * (Z_{\text{crête}} - Z_{TN})$	m	18,26
Longueur des bassins amont et aval : L_b	m	13,38
Longueur de la conduite : $L = B + L_b$	m	31,64
II, Détermination du diamètre de la conduite : D		
Le diamètre de la conduite permettre de livrer au moins le débit du mois de pointe pour l'irrigation avec un charge minimale et permettre une vidange rapide de la retenue en cas de besoin		
Débit spécifique du mois de pointe : Q_s	l/s/ha	3,45
Surface totale irriguée : S	ha	34,5
Débit de pointe délivré par la conduite : $Q = Q_s * S = C * S * (2gH)^{0,5}$ (TORRICERI) = VS	m ³ /s	0,119
	l/s	119,025
Cote PEN	m	307,000

Côte de l'eau à la sortie	m	304,780
Coefficient de contraction		0,80
Charge de l'eau sur la conduite : H	m	2,22
Vitesse maximale : $V_{max} =$	m/s	5,28
Vitesse moyenne : V_{moy}	m/s	3,73
Diamètre de la conduite : D	m	0,40
Débit maximum : Q_{max}	l/s	663,48
Débit moyen : Q_{moyen}	l/s	469,15
III, Détermination des côtes d'entrée et de sortie de la conduites		
La configuration topographique à l'aval du site de la retenue est telle qu'en calant l'entrée de la conduite à la côte , l'on dominera les surfaces irrigables		
Calcul des perte de charges totales par CALMONT-LECHAPT: $J_{total} = 1,1 * a * L * Q^n * D^m$	10^{-3} m	0,33
Côte aval: Z_{aval}	m	304,78
Pour notre conduite en acier non revêtu ($k = 1$) les données sont les suivantes :		
a		0,001601
n		1,975
m		5,25
Côte aval : Z_{aval}	m	304,78
Côte amont minimale : $Z_{amont} = Z_{aval} + J_{totale}$	m	305,11
IV, Evaluation du temps de vidange		
Volume d'eau PEN : V_{307}	m ³	1 440 569,13
Volume d'eau à la côte 305,5 : $V_{305,5}$	m ³	140 927
Volume à évacuer : $V_e = V_{307} - V_{305,5}$	m ³	1 299 642
Temps de vidange : $T = (V_e / (Q_{moy} * 3600 * 24)) / 30$	mois	1,07

Annexe III: DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Tableau 77 : Devis estimatif des travaux

N° Prix	Désignation	Marché initial				Actualisation/ radier		Actualisation/ déversoir poids	
		Unité	Quantité	Prix Unitaire	Prix Total	Quantité	Prix Total	Quantité	Prix Total
I	INSTALLATION DE CHANTIER ET REPLI DU MATERIEL DE CHANTIER								
1,1	Amenée et repli du matériel de chantier	FF	1	35 000 000	35 000 000	1	35 000 000	1	35 000 000
1,2	Installation du chantier	FF	1	5 000 000	5 000 000	1	5 000 000	1	5 000 000
1,3	Laboratoire du chantier	FF	1	7 500 000	7 500 000	1	7 500 000	1	7 500 000
	Sous total - I				47 500 000		47 500 000		47 500 000
II	Démolition de l'existant								
2,1	Démolition de la digue existante	FF	1	10 000 000	10 000 000	1	10 000 000	1	10 000 000
	Sous total - II				10 000 000		10 000 000		10 000 000
III	Tranchée d'ancrage et fondation								
3,1	Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	11 093	3 500	38 825 500	11 228,68	39 300 390	11 229	39 300 390
3,2	Remblai compacte aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	11 093	6 000	66 558 000	11 228,68	67 372 098	11 229	67 372 098

3,3	Remblai compacte aux engins pour tapis étanche (zone du déversoir)	m3	4 800	5 500	26 400 000	4 800	26 400 000	4 800	26 400 000
Sous total - III					131 783 500		133 072 488		133 072 488
V	DIGUE								
4,1	Débroussaillage - décapage (min 20cm)	m2	26 538	150	3 980 700	17 118,81	2 567 821	17 119	2 567 821
4,2	Déblai exécute aux engins pour drain	m3	358,00	3 500	1 253 000	603,56	2 112 443	603,56	2 112 443
4,3	Déblai exécute aux engins pour bute	m3	706,00	3 500	2 471 000	603,56	2 112 443	603,56	2 112 443
4,4	Couche de pose filtrante talus amont (e = 20 cm)	m3	1 192,00	8 000	9 536 000	579,10	4 632 799	579,10	4 632 799
4,5	Perré sec amont (épaisseur 25 cm)	m3	1 500,00	12 000	18 000 000	2 605,95	31 271 395	2 605,95	31 271 395
4,6	Remblai argileux compacte aux engins pour digue homogène	m3	17 760	5 500	97 680 000	22 200,01	122 100 054	22 200,01	122 100 054
	Remblai latéritique compacte aux engins pour digue avale	m3	9 000	5 000	45 000 000				-
4,7	Couche de couronnement crête	m3	1176	6 000	7 056 000	1 042,64	6 255 816	1 042,64	6 255 816
4,8	Déblai a la main à travers le remblai (mur de crête et muret parapet)	m3	864	3 000	2 592 000	804,74	2 414 220	804,74	2 414 220

4,9	Maçonnerie de moellons pour mur de crête aval	m3	864	15 000	12 960 000	402,37	6 035 550	402,37	6 035 550
4,10	Couche de protection sur talus aval (épaisseur=20cm)	m3	0	8 000	0	1 158,20	9 265 599	1 158,20	9 265 599
4,11	Béton ordinaire pour muret parapet	m3	216	85 000	18 360 000	804,74	68 402 900	804,74	68 402 900
4,12	Enrochement a la main pour butée	m3	725	18 000	13 050 000	603,56	10 863 990	603,56	10 863 990
4,13	Enrochement a la main pour drain	m4	370	18 000	6 660 000	603,56	10 863 990	603,56	10 863 990
4,14	Filtre horizontal sous digue (ep=50cm)	m3	1188	12 000	14 256 000	1 104,19	13 250 321	1 104,19	13 250 321
	Filtre vertical (ep=50cm)	m3	2465	15 000	36 975 000	240	3 600 000	240	3 600 000
	Moellons latéritiques pour talus aval	m3	PM	20 000	0				-
4,15	PVC évacuation DN 40mm pour le drainage des eaux à travers le mur parapet	ml	75	7 000	525 000	69,25	484 750	76	532 000
4,16	Perré sec sur talus aval digue au droit du mur guide eau RG et RD	m3	0	12 000	0	50,36	604 260	50,36	604 260
4,17	Enrochement pied aval murs guide eau RG et RD	m3	0	12 000	0	44,90	538 848	44,90	538 848
4,18	Enrochement pour rappel en moellons de	m3	0	12 000	0	113,36	1 360 320	113,36	1 360 320

	0,25*0,25 sur talus aval de la digue								
	Sous total - IV				290 354 700		298 737 518		298 784 768
V	Evacuateur de crue								
5,1	Echelle limnométrique cuvette	U	7	200 000	1 400 000	4	800 000	4	800 000
	Remblai pour stabilisation des bajoyers	m3	240	3 500	840 000			525	1 837 500
5,2	Déblai aux engins grande masse pour chenal d'évacuation (en entonnoir)	m3	1440	3 500	5 040 000	2720,00	9 520 000	2 720	9 520 000
5,3	Déblai aux engins pour bassin de dissipation	m3		3 500	0	1 296,00	4 536 000	1 296	4 536 000
5,4	Déblai exécute a la main pour bêche coursier, seuil BD et blocage des gabions	m3	138,24	3 000	414 720	45,00	135 000	45	135 000
5,5	Déblai exécute a la main pour poutres transversales, longitudinales du coursier, de la crête du déversoir, et du BD	m3		3 000	0	22,50	67 500	22,50	67 500
5,6	Déblai exécute a la main pour bèches amont et aval de la crête du déversoir et	m3		3 000	0	65,60	196 800	65,60	196 800

	pour ancrage des murs guide eaux RD et RG								
5,7	Déblai exécute a la main pour butée amont du déversoir (0,50*0,5m), rappels taus amont du déversoir et ancrage du seuil déversant du BD	m3		3 000	0	45,00	135 000	45,00	135 000
5,8	Béton de propreté pour poutres transversales, longitudinales en crête et talus aval du déversoir, murs guide eaux, bêche du coursier et bêche en crête	m3		50 000	0	20,46	1 023 130	12,86	643 130
	Béton de propreté sous fondation du seuil	m3	20,16	50 000	1 008 000			33,00	1 650 000
	Béton de propreté pour bajoyers	m3	4,51	50 000	225 500			19,00	950 000
5,9	Béton ordinaire coule à plat pour bassin de dissipation et du blocage des gabions	m3		85 000	0	153,75	13 068 750	82,50	7 012 500
5,10	Béton ordinaire coule à plat pour butée du talus amont du déversoir (0,50*0,50m)			85 000	0	58,75	4 993 750	27,50	2 337 500

5,11	Béton ordinaire coulé à plat pour rappels sur le talus amont du déversoir	m3		85 000	0	43,56	3 702 813	23,38	1 986 875
5,12	Béton ordinaire coulé à plat pour blocs chicanes, blocs de chutes et poutres transversales sous bassin de dissipation	m3		85 000	0	27,14	2 306 826	27,14	2 306 826
	Béton arme dose à 350kg/m3 pour bajoyers, rideaux et contreforts	m3	510	150 000	76 500 000			415,35	62 302 500
	Béton arme dose a 350kg/m3 coulé à plat pour bassin de dissipation	m3	177	140 000	24 780 000				-
	Perré maçonnerie (chaque cote du déversoir)	m2	204	13 000	2 652 000				-
5,13	Béton arme dose a 350kg/m3 coulé à plat pour coursier sur talus aval du déversoir	m3		140 000	0	135,00	18 900 000		-
5,14	Béton arme dosé à 350kg/m3 coulé à plat pour bèches amont, aval et rampes de la crête du déversoir	m3		140 000	0	42,00	5 880 000		-

5,15	Béton arme dose à 350kg/m3 pour palier et rampes RD et RG du déversoir	m3		140 000	0	36,75	5 145 000		-
5,16	Béton arme dose a 350kg/m3 coulé en élévation pour murs guide eaux RD et RG	m3		150 000	0	14,54	2 180 250		-
	Béton arme dose a 350kg/m3 coulé à plat pour murs guide eaux RD et RG	m3		140 000	0	8,00	1 120 000		-
5,17	Béton arme dose a 350kg/m3 coulé à plat pour poutres transversales longitudinales en crête et talus aval du déversoir	m3		140 000	0	22,56	3 158 400		-
5,18	Béton arme dose a 350kg/m3 coulé à plat pour bèche du coursier	m3		140 000	0	25,20	3 528 000	25,20	3 528 000
5,19	Sable pour filtres sous dalles de la crête du déversoir, sous coursier et sous BD	m3		15 000	0	211,95	3 179 250		-
5,20	Enrochement de protection du chenal d'évacuation	m3	300	12 000	3 600 000	240,00	2 880 000	240,00	2 880 000
	Sable pour filtres	m3	54	15 000	810 000				-

5,21	Pose de gabions métalliques de (1,00*0,50*2,00m)	m3	210	30 000	6 300 000	103	3 075 000	55,00	1 650 000
5,22	Joints waterstops	ml	134,4	35 000	4 704 000	42,00	1 470 000	23,00	805 000
5,23	Gravier pour filtre sous l'enrochement du chenal d'évacuation	m3		15 000	0	200,00	3 000 000	200,00	3 000 000
5,24	Perré maçonne sur talus amont du déversoir	m2		13 000	0	585,00	7 605 000		-
5,25	Barbacanes et éjecteurs DN 40 sur bassin de dissipation et coursier	ml	72	10 000	720 000	150,00	1 500 000	150,00	1 500 000
	Joints bitumineux	ml	72	5 000	360 000			150,00	750 000
5,26	Balises en BA DN 200 peints en rouge blancs à l'entrée et sortie en amont et aval du déversoir	U		75 000	0	4,00	300 000	4,00	300 000
5,27	IPN de 100 pour garde-corps (hauteur 1,50m) tous les 3 m peint en rouge et blancs (peinture à huile)	ml	0	15 000	0	205,00	3 075 000	205,00	3 075 000
5,28	Tubes gala métalliques DN 50 pour garde-corps peint en rouge et blancs (peinture à huile)	ml	0	15 000	0	460,00	6 900 000	460,00	6 900 000
5,29	Polystyrène pour joints	m2	40	10 000	400 000			45,00	450 000
5,30	Couche de transition latéritique sous perré	m3		8 000	0	61,97	495 760	61,97	495 760

	maçonne du talus amont du déversoir								
	Sous total - V				129 754 220		113 877 228		121 750 891
VI	Ouvrage de prise rive droite								
6,1	Déblai a la main pour bac amont et aval	m3	7,7	3 000	23 100	28,56	85 680	28,56	85 680
6,2	Déblai a la main pour conduites	m3	72	3 000	216 000	9,90	29 688	9,90	29 688
6,3	Béton propreté pour bacs amont et aval	m3	1	50 000	50 000	1,08	54 000	1,08	54 000
6,4	Béton propreté pour conduites	m3	1,9	50 000	95 000	1,40	70 000	1,40	70 000
6,5	Conduite en fonte DN 200 et accessoires	ml	36	75 000	2 700 000	0,00	-		-
6,6	Vanne papillon DN 200 et accessoires	U	1	750 000	750 000	0,00	-		-
6,7	Crépine diamètre 200 (locale)	U	1	100 000	100 000	0,00	-		-
6,8	Béton arme dose à 350kg/m3 pour enrobage conduites	m3	38,4	140 000	5 376 000	1,37	192 423	1,37	192 423
6,9	Béton arme dose à 350kg/m3 coulé en élévation pour bacs	m3	16,3	150 000	2 445 000	6,95	1 042 800	6,95	1 042 800
6,10	Béton arme dose à 350kg/m3 coulé à plat pour bacs	m3	7,4	140 000	1 036 000	2,16	302 400	2,16	302 400

6,11	Béton arme dose à 350kg/m3 coulé en élévation pour écrans	m3	4,3	150 000	645 000	8,34	1 251 000	8,34	1 251 000
6,12	Perré maçonné pour bacs amont et aval	m3	3,3	13 000	42 900	7,75	100 750	7,75	100 750
6,13	Enrochement bacs amont et aval	m3	3,1	12 000	37 200	7,06	84 756	7,06	84 756
6,14	Maçonnerie de moellons escalier	m3	24	20 000	480 000	2,50	50 000	2,50	50 000
6,15	Echelle de descente dans les bacs amont et aval de fabrication locale	ml	2	100 000	200 000	2,00	200 000	2,00	200 000
6,16	Caillebotis pose sur cornières pour bacs amont et aval	m2	9,6	100 000	960 000	7,00	700 000	7,00	700 000
6,17	Echelle limnométrique (niveau au-dessus de la prise)	ml	7,00	200 000	1 400 000	4,00	800 000	4,00	800 000
	Conduite en fonte DN 300 et accessoires	ml		150 000		35,00	5 250 000	35,00	5 250 000
	Vanne papillon DN 300 et accessoires	U		1 500 000		1,00	1 500 000	1,00	1 500 000
	Crépine diamètre 300 (locale)	U		200 000		1,00	200 000	1,00	200 000
	Sous total - VI				16 556 200		11 913 497		11 913 497
VII	Coûts de mise en œuvre des mesures environnementales								

7,1	dégradation de la qualité de l'air	PM	0	5 000 000	0		-		
7,2	Mesure d'atténuation de la pollution des eaux souterraines et de superficielles	U	1	2 500 000	2 500 000	1	2 500 000	1	2 500 000
7,3	Altération de la qualité physico chimique des sols	U	1	1 000 000	1 000 000	1	1 000 000	1	1 000 000
7,4	Destruction de ressources végétales	U	1	6 180 000	6 180 000	1	6 180 000	1	6 180 000
7,5	Santé des populations bénéficiaires	U	1	500 000	500 000	1	500 000	1	500 000
7,6	Surveillance et suivi environnemental	U	1	4 500 000	4 500 000	1	4 500 000	1	4 500 000
7,7	Evaluation des exploitations et des plantations	U	1	26 019 114	26 019 114	1	26 019 114	1	26 019 114
7,8	Réalisation d'un forage positif	U	1	5 000 000	5 000 000	1	5 000 000	1	5 000 000
	Sous total - VII				45 699 114		45 699 114		45 699 114
	TOTAL GENERAL HORS TVA				671 647 734		660 799 845		668 720 757
	TOTAL GENERAL TTC				792 544 326		779 743 817	-	789 090 494
	ECART GENERAL HORS TVA						10 847 889		2 926 977
	ECART GENERAL TTC						12 800 509		3 453 833

Annexe IV : ETUDES ECONOMIQUES

Tableau 78 : Compte d'exploitation du riz par hectare (source : DRAAH-PL)

Charges					Produits					
Intitulés	Cout Unit	Unité	Quantités	Cout total	Intitulés	Cout Unit	Unité	Quantités	Cout total	
Labour	30 000		1	30 000	Riz paddy	200	kg	3 500	700 000	
Fumure organique	2 000	Charretées	50	100 000						
Total 1				130 000					700 000	
Intrants	NPK 150 kg	20 000	sac	4	80 000					
	Urée 100 kg	17 500	sac	2	35 000	Paille de riz	1	FF	200 000	200 000
	Semences 50 kg	500	kg	50	25 000					
	Pyral	5 000	Kg	12	60 000					
	Cyperméthrine	10 000	Litre	2	20 000					
	Herbicide	5 000	litre	3	15 000					
Total 2				235 000					200 000	
MO-EC	semis	30 000	FF	1	30 000					
	1 ^{er} Sarclage	50 000	FF	1	50 000	Balle de riz	1	FF		
	2 ^{ème} sarclage	50 000	FF	1	50 000					
Total 3				130 000						
MO-OPR	Récolté	25 000	FF	1	25 000					
	Battage	15 000	FF	1	15 000					
	Emballage	250	sac	45	11 250					
	Conditionnement	15 000	FF	1	15 000					
Gasoil + redevance eau	75 000	FF	1	75 000						
Total 4				141 250						
Total Général				636 250					900 000	

Tableau 79 : Compte d'exploitation de l'oignon par hectare (Source : DRAAH-PC)

Charges						Produits				
		Cout Unit	Unité	Quantités	Cout total		Cout Unit	Unité	Quantités	Cout total
	Labour	30 000		1	30 000	Oignon	150	kg	20 000	3 000 000
	Fumure organique	2 000	Charr etées	50	100 000					
	Total 1				130 000					3 000 000
	NPK 150 kg	20 000	sac	4	80 000					
	Urée 100 kg	17 500	sac	2	35 000					200 000
	Semences 50 kg	500	kg	50	25 000					
Pesticides	Pyral	5 000	Kg	12	60 000					
	Cyperméthrine	10 000	Litre	2	20 000					
	Herbicide	5 000	litre	3	15 000					
	Total 2				235 000					
	semis	30 000		1	30 000					
	1 ^{er} Sarclage	50 000		1	50 000					
	2 ^{ème} sarclage	50 000		0	0					
	Total 3				80 000					
	Récolté	25 000		1	25 000					
	Battage	15 000		1	15 000					
	Emballage	250		45	11 250					
	Conditionnement	15 000		1	15 000					
	Gazoil + redevance eau	120 000		1	120 000					
	Total 4				186 250					
	Total Général				631 250					3 000 000

Tableau 80 : Bilan d'exploitation

Taux d'actualisation = 0,12

N°	Année	Cash-flow	Valeur Actualisé Net
0	Année 0	- 1 228 564 226,77	- 1 228 564 226,77
1	Année 1	65 812 500	58 761 160,71
2	Année 2	65 812 500	52 465 322,07
3	Année 3	65 812 500	46 844 037,56
4	Année 4	65 812 500	41 825 033,54
5	Année 5	65 812 500	37 343 779,94
6	Année 6	65 812 500	33 342 660,66
7	Année 7	65 812 500	29 770 232,73
8	Année 8	65 812 500	26 580 564,94
9	Année 9	65 812 500	23 732 647,27
10	Année 10	65 812 500	21 189 863,63
11	Année 11	65 812 500	18 919 521,10
12	Année 12	65 812 500	16 892 429,55
13	Année 13	65 812 500	15 082 526,39
14	Année 14	65 812 500	13 466 541,42
15	Année 15	65 812 500	12 023 697,69
16	Année 16	65 812 500	10 735 444,37
17	Année 17	65 812 500	9 585 218,19
18	Année 18	65 812 500	8 558 230,52
19	Année 19	65 812 500	7 641 277,25
20	Année 20	65 812 500	6 822 568,98
21	Année 21	65 812 500	6 091 579,44
22	Année 22	65 812 500	5 438 910,22
23	Année 23	65 812 500	4 856 169,84
24	Année 24	65 812 500	4 335 865,93
25	Année 25	65 812 500	3 871 308,86
26	Année 26	65 812 500	3 456 525,77
27	Année 27	65 812 500	3 086 183,72
28	Année 28	65 812 500	2 755 521,18
29	Année 29	65 812 500	2 460 286,77
30	Année 30	65 812 500	2 196 684,62
31	Année 31	65 812 500	1 961 325,55
32	Année 32	65 812 500	1 751 183,53
33	Année 33	65 812 500	1 563 556,72
34	Année 34	65 812 500	1 396 032,79
35	Année 35	65 812 500	1 246 457,84
36	Année 36	65 812 500	1 112 908,79

37	Année 37	65 812 500	993 668,56
38	Année 38	65 812 500	887 204,07
39	Année 39	65 812 500	792 146,49
40	Année 40	65 812 500	707 273,66
41	Année 41	65 812 500	631 494,34
42	Année 42	65 812 500	563 834,23
43	Année 43	65 812 500	503 423,42
44	Année 44	65 812 500	449 485,19
45	Année 45	65 812 500	401 326,07
46	Année 46	65 812 500	358 326,85
47	Année 47	65 812 500	319 934,68
48	Année 48	65 812 500	285 655,97
49	Année 49	65 812 500	255 049,97
50	Année 50	65 812 500	227 723,19
VAN			- 682 024 420,00
TRI			4,86%
Taux d'enrichissement			-55,5%
Durée de retour sur investissement (ans)			18,67

Tableau 81: Plan de gestion environnemental et social

OBJECTIF GLOBAL : CONCILIER LES AVANTAGES DU PROJET DE CONSTRUCTION DU BARRAGE ET DES AMENAGEMENTS ET LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT							
PARTIE DU PGES COMMUNE À L'ENSEMBLE DES COMPOSANTES DE L'ENVIRONNEMENT							
Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques
Sensibilisation des riverains et du personnel des chantiers sur les enjeux environnementaux du projet	Les riverains des sites des périmètres et le personnel des chantiers sont sensibilisés sur la nécessité de protéger l'environnement	Organisation de campagnes et réunions de sensibilisation des riverains des périmètres et du personnel des chantiers	Avant le début des travaux et suivant une périodicité à déterminer par le comité de suivi environnemental	Mission de Contrôle (MDC)	Respect des bonnes pratiques environnementales par les groupes cibles	Rapports des campagnes et réunions de sensibilisation élaborés par la MDC	Prioritaire
Élaboration d'un règlement intérieur pour le respect de l'environnement par le personnel des chantiers	Un règlement intérieur prescrivant les règles de bonnes pratiques environnementales et les sanctions en cas de manquement est disponible	Rédaction d'un règlement intérieur ad hoc	Au début des travaux	- Entreprises - MDC	Existence du règlement intérieur	Le règlement intérieur	Prioritaire
Minimiser la dégradation de la qualité de l'air pendant les travaux	Les envois de poussières et les gaz d'échappement des véhicules et des engins sont diminués	- Arrosage régulier du chantier - Vérification et réglage régulier des moteurs des véhicules et des engins	Début des travaux et pendant les travaux	- Entreprises - MDC - Comité de surveillance	- Les chantiers sont arrosés - Les véhicules et engins sont peu polluants	- Rapports de suivi de la MDC - Rapport de surveillance - Rapports des Centres de Santé	Indispensable
Lutter contre la pollution des eaux de surface et souterraines	Les risques de pollution physique et chimique des eaux sont réduits	- Ouverture de zones d'emprunt et de dépôt à plus de 500 m des cours d'eau - Collecte régulière des déchets	Pendant les travaux	- Entreprises - MDC - Comité de surveillance	Normes de qualité des eaux	- Fiches de résultats d'analyses des eaux - Rapports de surveillance	Très prioritaire

OBJECTIF GLOBAL : CONCILIER LES AVANTAGES DU PROJET DE CONSTRUCTION DU BARRAGE ET DES AMENAGEMENTS ET LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT							
PARTIE DU PGES COMMUNE À L'ENSEMBLE DES COMPOSANTES DE L'ENVIRONNEMENT							
Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques
		solides et liquides des chantiers en vue de leurs évacuations - Positionnement des motopompes à au moins 30 m des berges et construction d'une diguette pour éviter le ruissellement autour de l'aire de pompage					
Éviter la pollution des eaux de surface et souterraines à long terme.	La qualité des eaux est préservée en permanence	Surveiller la qualité de l'eau	Annuellement en Avril et octobre pendant 10 ans après la fin du projet	Comité de suivi	La qualité de l'eau est préservée en permanence	Rapport de suivi	Indispensable
Minimiser la déstabilisation de la structure du sol et le remaniement du profil pédologique	Les modifications des caractéristiques structurales du sol et des caractéristiques paysagères au niveau des zones d'emprunt et de dépôt en particulier sont minimisées	Remise en état du sol dans les zones d'emprunt, de dépôt, parking et dans les bases vie	- Après repli des chantiers - Après exploitation des sites d'emprunt et de dépôt	- Entreprises - MDC - Comité de surveillance	- La terre végétale est régénérée - Des espèces végétales adaptées sont plantées	- Fiches de réception des travaux de la MDC - Rapport de vérification du comité de surveillance	Très prioritaire
Réduire les risques de pollution des sols	- La pollution par les déchets solides est atténuée	- Collecter régulièrement les	Pendant les travaux	- Entreprises - MDC	- Absence de sites contaminés	- Journaux des chantiers	Très prioritaire

OBJECTIF GLOBAL : CONCILIER LES AVANTAGES DU PROJET DE CONSTRUCTION DU BARRAGE ET DES AMENAGEMENTS ET LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT							
PARTIE DU PGES COMMUNE À L'ENSEMBLE DES COMPOSANTES DE L'ENVIRONNEMENT							
Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques
	- Les risques de déversement accidentel d'hydrocarbures sont diminués	déchets solides et liquides des chantiers en vue de leur évacuation - Vidanger les engins et les véhicules à des endroits prévus à cet effet		- Comité de surveillance	- Les bases vie et les parkings nettoyés des déchets solides et des taches d'hydrocarbures	de la MDC - Rapports du comité de surveillance	
Réduire les risques de dégradation de la fertilité des sols	La fertilité des sols est entretenue	Suivre périodiquement l'évolution de la fertilité des sols	Tous les 5 ans en phase d'exploitation	Comité de suivi	Les propriétés des sols sont maintenues ou améliorées	Rapport de suivi	Indispensable
Réduire la destruction de la végétation	La destruction de la végétation est limitée au strict minimum	- Compenser les pertes de végétation par : - La plantation d'arbres brise-vent sur les périmètres - La réalisation d'un bosquet dans chaque village site	Avant et après les travaux	- Entreprises - Direction régionale en charge de l'environnement - Populations bénéficiaires	Existence des brise-vents et des vergers	Les rapports de constat du maître d'ouvrage délégué	Prioritaire
Réduire l'impact du projet sur la faune et ses habitats	La perte de faune et la destruction d'habitats de faune sont minimisées	- Installation des bases vie dans des zones naturellement dénudées - Interdiction de prélèvement de la faune	Avant, pendant et après les travaux	- Entreprises - Direction Régionale en charge de l'environnement	- Présence des bases vie en zones dénudées - Existence des zones revégétalisées	Les rapports de constat du maître d'ouvrage délégué	Prioritaire

OBJECTIF GLOBAL : CONCILIER LES AVANTAGES DU PROJET DE CONSTRUCTION DU BARRAGE ET DES AMENAGEMENTS ET LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT							
PARTIE DU PGES COMMUNE À L'ENSEMBLE DES COMPOSANTES DE L'ENVIRONNEMENT							
Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques
		<ul style="list-style-type: none"> par le personnel des chantiers - Revégétalisation des zones d'emprunt 					
<ul style="list-style-type: none"> - Réduire les risques de propagation des IST/SIDA - Accroître la sécurité des riverains des sites - Réduire les nuisances sonores pendant les travaux 	<ul style="list-style-type: none"> - Le nombre d'accidents sur les chantiers est faible sinon nul - Le personnel des chantiers et les riverains sont sensibilisés sur les IST/SIDA - Les nuisances sonores sont atténuées 	<ul style="list-style-type: none"> - Interdire l'accès des chantiers aux populations riveraines - Mise en place de points de vente de préservatifs et sensibilisation sur les IST/SIDA - Limitation des horaires de travail à la journée - Vérification régulière du bon fonctionnement des engins 	Dès le début des travaux et pendant les travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Entreprises - MDC - Ministère de la Santé - Prestataires de service 	<ul style="list-style-type: none"> - Nbre d'accidents survenus - Les horaires de travail sur les chantiers 	<ul style="list-style-type: none"> - Enquête - Rapports du comité de surveillance - Cahier des charges des entreprises 	Très prioritaire
Créer des emplois	L'emploi est augmenté	Recrutement des travailleurs ressortissants des villages-sites	Pendant les travaux	Entreprises	Nombre de personnes embauchées	Rapports d'activités des entreprises et de la MDC	Indispensable
Développer l'agriculture et l'élevage	La production agropastorale est augmentée	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien régulier des ouvrages - Assurer l'encadrement 	Après les travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Comités de suivi - MAH et MRA 	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux d'entretien réalisés - Statistiques agropastorales 	<ul style="list-style-type: none"> - Rapports des entreprises - Rapports d'activités des 	Indispensable

OBJECTIF GLOBAL : CONCILIER LES AVANTAGES DU PROJET DE CONSTRUCTION DU BARRAGE ET DES AMENAGEMENTS ET LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT							
PARTIE DU PGES COMMUNE À L'ENSEMBLE DES COMPOSANTES DE L'ENVIRONNEMENT							
Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques	Objectifs spécifiques
		<ul style="list-style-type: none"> nt des exploitants - Promouvoir la pratique de l'élevage en stabulation totale 				Directions Régionales en charge de l'Agriculture et de l'Élevage	
Promouvoir ou renforcer la pêche	Les produits de la pêche ont augmenté	<ul style="list-style-type: none"> - Renforcer la capacité des groupements villageois de pêche - Organiser le secteur 	Pendant et après les travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Services en charge de la pêche - Communes - Associations 	<ul style="list-style-type: none"> - Statistiques - Flux des produits de pêche 	Rapports d'activités de la direction régionale compétente	Indispensable
Améliorer les conditions de vie des femmes rurales	Les conditions des femmes sont améliorées	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien couramment les ouvrages - Initier des micro-projets en faveur des femmes rurales 	Pendant et après les travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Services en charge de la promotion de la femme - Structures de micro crédits 	<ul style="list-style-type: none"> - Les micro-projets sont réalisés en faveur des femmes rurales. 	Rapports d'activités des services techniques compétents	Très prioritaire

Annexe V : DOSSIER DE PLAN