



De l'EIER ETSHER à 2iE,
50 ans au service de l'Afrique



**ETUDES DE REHABILITATION DU BARRAGE DE HOUNDE,
PROVINCE DU TUY, REGION DES HAUTS BASSINS
(BURKINA FASO)**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER

SPECIALITE : GENIE CIVIL HYDRAULIQUE

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Guineo EMMANUEL SOUKO (20111248)

Encadrant 2iE : M. Moussa LO : Enseignant Chercheur Junior, Département Génie Civil et Hydraulique

Maitre de Stage : M. Paul KABORE : Ingénieur du Génie Rural, Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Dial NIANG (GWP/AO, 2009)

Membres et correcteurs : Dr. FOWE TAZEN

M. Célestin OVONO MEZUI

Promotion [2018-2019]

DEDICACES

A Dieu tout puissant

A mes très chers parents

A mes frères et sœurs

A tous ceux qui me sont chers

Je dédie ce mémoire.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce mémoire, il nous est particulièrement agréable de traduire toute notre gratitude aux personnes et aux institutions suivantes dont l'aide très appréciable, nous ont permis de mener à bien cette étude. Il s'agit de :

La **direction générale du 2iE** et l'ensemble du **corps professoral de 2iE** qui ont contribué à la réussite de cette formation, pour votre aide, trouvez dans cette œuvre votre satisfaction et votre fierté ;

M. Moussa LO, enseignant au département Génie Civil et Hydraulique (GCH), pour vos conseils et encouragements, pour votre encadrement exceptionnel, pour votre engagement sans faille à nos côtés.

La **direction générale** et l'ensemble du **personnel de la DGIH** qui ont su m'accueillir, m'intégrer au sein de leur équipe et qui n'ont ménagé aucun effort pour m'assurer la logistique requise afin de mener à bien les activités prévues pendant cette période de Stage

M. Paul KABORE, Ingénieur Génie rural à la DGIH, Maitre de stage. Vous n'avez ménagé aucun effort pour m'introduire et me guider dans tous les travaux. Vos conseils, votre enthousiasme et bonne volonté au travail m'ont beaucoup marqué. J'en suis très reconnaissant.

M. Martin TANGA, de la DGIH, pour toute l'aide qu'il nous a apporté dans nos recherches documentaires

RESUME

Ce mémoire présente les résultats du diagnostic et de l'étude technique pour la réhabilitation du barrage de HOUNDE qui est à vocation hydro-agro-pastorale. Ce barrage construit en **2006**, n'a pas encore connu de réhabilitation. Il est situé à l'exutoire d'un bassin versant d'une superficie d'environ **37 km²** avec une capacité de **1 707 041,88 de m³**. Une étude diagnostique montre la dégradation des certains ouvrages, dont les causes et conséquences ont pu être identifiées.

Les caractéristiques principales de l'ouvrage actuel sont : la digue est homogène en remblai argileux, d'une longueur de **1495 m**, sa largeur en crête est de **3,5 m**, sa hauteur maximale est de **4,75 m**, et est calée à la côte 328,8 m, avec des talus amont et aval respectivement de **1V/2,5H et 1V/2H**. Le déversoir est caractérisé par une longueur de **30 m**, calé à la côte au PEN de 327,5 m. La réhabilitation a consisté aux différents traitements des fuites, des griffes d'érosion, le désherbage et le dessouchage des arbres et arbustes sur la digue, par contre les dimensions la digue sont restées inchangé à part les pentes des talus amont et aval égale à **2H/1V** que nous recommandons.

Pour le déversoir le dimensionnement de la réhabilitation nous donne un déversoir de **32 m** de long pouvant évacuer un débit de crue centennale **80 m³/s**. nous prévoyons un mur parapet sur la digue pour prendre en compte les effets du changement climatique. A l'aval du déversoir, un bassin de dissipation à ressaut de **Type II** sera construit.

L'ouvrage de prise est calé à la côte **325 m** et nous prévoyons implanter une nouvelle prise à **150 m** du déversoir pour une bonne utilisation de celui-ci. Il sera toujours destiné à l'irrigation à l'aval du barrage. Le coût de la réhabilitation a été estimé à environ (cent soixante-dix-huit millions quatre cent quarante mille neuf cent francs) **178 440 900 FCFA TTC**.

Mots clés :

1. Diagnostic,
2. Réhabilitation
3. Barrage
4. HOUNDE.

ABSTRACT

This thesis demonstrates the diagnostic results and technical studies for the HOUNDE dam rehabilitation with hydro-agro-pastoral use. This was built in 2006 and has not yet been rehabilitated; it is situated at the exit of a basin of about 37km² with a volume up to 1.7 million m³ in average per year. A diagnostic study shows the degradation of some degraded works that we could identify the cause and consequences. The main features of this structure consists of: a uniform clay bank made dyke of 1495 m in length and 3.5 m in width at the crest. It's maximum height is 4.75 m and is wedged on to the coast 328,8 m, with pillars at the front and backsides of varying between 1V/2,5H and 1V/2H.

The spoiler is characterized by a length of 30 m, stalled at the coast to the PEN of 327.5 m. Rehabilitation consists of different treatments for the various leaks, gullies, and the clearing of trees and shrubs on the dyke, on the other hand the dimensions of the dike remained unchanged.

For the weir the, sizing of the rehabilitation gives us a weir of 32 m long spillway occupies a lateral position designed to evacuate a centennial flood rate of 80 m³/s. we plan a parapet wall on the dyke to take into account the effects of climate change. Downstream of this spillway, a Type II breakwater will be constructed.

The catch structure will be moved to the spillway for proper use, and will always be used for irrigation downstream of the dam. The cost of rehabilitation has been estimated at about **CFAF 178,440,900** including tax.

Key words:

1. Diagnostic,
2. Rehabilitation,
3. Dam,
4. HOUNDE.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES	x
I. INTRODUCTION	1
I.1 Contexte	1
I.2 OBJECTIFS DE L’ETUDE	2
I.2.1 OBJECTIF GENERAL	2
I.2.2 OBJECTIFS SPECIFIQUES.....	2
II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D’ACCUEIL ET DE LA ZONE D’ETUDE	3
II.1 PRESENTATION DE LA STRUCTURE D’ACCUEIL	3
II.2 PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....	4
II.2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	4
II.2.1.1 Localisation.....	4
II.2.2 SITUATION DEMOGRAPHIQUE	5
II.2.2.1 Population	5
II.2.2.2 Mouvements migratoires	5
II.2.3 MILIEU PHYSIQUE	6
II.2.3.1 Relief.....	6
II.2.3.2 Climat.....	6
II.2.3.3 Hydrographie	6
II.2.3.4 Environnement.....	7
III. PRESENTATION DU PROJET	9
III.1 DIAGNOSTIC DU BARRAGE DE HOUNDE	9
III.1.1 HISTORIQUE DU BARRAGE	9
III.2 ETAT DU BARRAGE AVANT REHABILITATION	9
III.2.1 La Digue	9
III.2.2 Le Déversoir	11

III.2.3	Ouvrage de prise	11
III.2.4	L'aval du barrage.....	12
III.3	TABLEAU RECAPITULATIF DU DIAGNOSTIC DU BARRAGE	13
III.4	ETUDE DE BASE	15
III.4.1	SYNTHESE DES ETUDES TOPOGRAPHIQUES.....	15
III.4.1.1	Synthèse.....	15
III.4.1.2	Analyse	15
III.4.2	SYNTHESE DES ETUDES SOCIO-ECONOMIQUES	16
III.4.3	SYNTHESE DES ETUDES HYDROLOGIQUES	17
III.4.3.1	Analyse statistiques des données pluviométriques.....	17
III.4.3.2	Caractéristiques du Bassin Versant	19
III.4.3.3	Prédétermination de la crue du projet.....	21
IV.	MATERIELS ET METHODES.....	23
IV.1	MATERIELS	23
IV.2	METHODES	23
IV.2.1	Etudes de diagnostiques	23
IV.2.2	Etudes de base	24
IV.2.3	Vérification du dimensionnement des ouvrages et propositions de réhabilitation	26
IV.3	RESULTATS ET DISCUSSIONS	32
IV.3.1	RESULTATS	32
IV.3.1.1	VERIFICATION DES DIMENSIONS DE LA DIGUE.....	32
IV.3.1.2	VERIFICATION DE L'EVACUATEUR DE CRUE.....	33
IV.3.1.3	VERIFICATION DE LA REVANCHE LIBRE DU SEUIL	34
IV.3.1.4	ETUDE DE LA RETENUE (Apports et Pertes).....	35
IV.3.1.5	EVALUATION DES BESOINS EN EAU	37
IV.3.2	DISCUSSIONS	40
IV.3.2.1	La Digue	40
IV.3.2.2	Déversoir	40
IV.3.2.3	Calage de la prise	40
IV.3.2.4	Mise en place d'un dispositif d'auscultation.....	41
V.	PROPOSITION DE REHABILITATION	42
V.1	PROPOSITION DE REHABILITATION DE LA DIGUE DU BARRAGE.....	42

V.1.1. Désherbage et dessouchage des arbres et des arbustes sur les talus	42
V.1.2. Traitement des griffes d'érosion sur le talus aval.....	43
V.2 PROPOSITION DE LA REHABILITATION DU DEVERSOIR	44
V.3 PROPOSITION DE REHABILITATION DE LA PRISE	48
VI. ESTIMATION DU COUT DE LA REHABILITATION	49
VII. ETUDE IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL	50
VIII. CONCLUSION	51
IX. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	52
BIBLIOGRAPHIE.....	53
ANNEXES.....	I

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
CETRI	: Cabinet d'Etude Technique pour la Recherche en Ingénierie
CIEH	: Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
CNBB	: Comité National des Barrages au Burkina Faso
DGIH	: Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques
ONBAH	: Office National de Barrages et des Aménagements Hydro-agricoles
ORSTOM	: Office de Recherche en Sciences et Techniques Outre-Mer
PRBA	: Projet de Réhabilitation de Barrages et d'Aménagements
MEA	: Ministère de l'Eau et de l'Assainissement
ORSTOM	: Office de Recherche en Sciences et Techniques Outre-Mer
PEN	: Plan d'Eau Normal
PGES	: Plan de Gestion Environnementale et Sociale
PHE	: Plus Hautes Eaux
USBR	: United States Bureau of Reclamation.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Caractéristiques du barrage avant la réhabilitation.....	9
Tableau II: Diagnostic des ouvrages.....	13
Tableau III: pluviométries annuelles et journalières pour différentes périodes de retour	18
Tableau IV: Caractéristiques du Bassin Versant de HOUNDE.....	21
Tableau V: Paramètres de calcul des débits.....	22
Tableau VI: Les débits obtenus par les différentes méthodes.....	22
Tableau VII: Critères de choix de différentes pentes.....	32
Tableau VIII: Lame d'eau au-dessus du déversoir.....	34
Tableau IX: Apports liquides sur dans la retenue.....	35
Tableau X: Apports solides dans la retenue.....	36
Tableau XI: Evaporation et infiltration dans la retenue.....	37
Tableau XII: Besoins en eau de l'oignon	38
Tableau XIII: Besoins en eau pastorale	38
Tableau XIV: Besoins en eau domestique	39
Tableau XV: Longueur et charge du déversoir.....	45
Tableau XVI: Stabilité du déversoir	46
Tableau XVII: Paramètres du bassin de dissipation	47
Tableau XVIII: Paramètres des blocs chicanes	48
Tableau XIX: Tableau récapitulatif du coût	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de situation de HOUNDE	4
Figure 2: Image du barrage de HOUNDE (Décembre 2018)	5
Figure 3: Les anomalies identifiées sur digue du Barrage de HOUNDE	10
Figure 4 : L'évacuateur de crue du Barrage de HOUNDE	11
Figure 5: Ouvrage de prise du Barrage de HOUNDE et un puit	12
Figure 6: L'aménagement à l'aval du Barrage de HOUNDE	12
Figure 7: Courbe Hauteur-Volume du barrage de HOUNDE	16
Figure 8: Courbe Hauteur-Surface du Barrage de HOUNDE	16
Figure 9:Ajustement des pluies annuelles de HOUNDE par GAUSS.....	18
Figure 10: Ajustement des pluies maximales journalières de HOUNDE par GUMBEL.....	19
Figure 11: Bassin Versant du barrage HOUNDE.....	20
Figure 12: Courbe Hypsométrique du barrage de HOUNDE.....	20
Figure 13: Courbe d'exploitation du barrage de HOUNDE.....	41

I. INTRODUCTION

I.1 Contexte

Le Burkina Faso est un pays sahélien très vulnérable en matière d'eau. En effet, l'action conjuguée de plusieurs facteurs y contribue fortement : aléas climatiques, démographie galopante, mauvaise stratégie de gouvernance, etc. En définitive, la « *maitrise de l'eau constitue la clé du problème sahélien* ». (GWP/AO, 2009).

Au Burkina Faso, celle-ci constitue un véritable frein au développement, sous toutes ses formes, surtout lorsque l'on sait que l'activité économique principale est l'agriculture. Afin d'atteindre les objectifs en matière de sécurité alimentaire, le gouvernement, avec l'appui de ses partenaires œuvre à la réalisation et la réhabilitation de petits barrages et retenues d'eau, avec périmètres aménagés en aval. Par la suite, la production agricole qui se développe autour de ces ouvrages attire de la main d'œuvre et des investisseurs, fixe les autochtones dans leur terroir et contribue de manière significative à la réduction de la pauvreté dans le milieu rural.

La mobilisation des ressources en eaux de surface en milieu rural s'inscrit dans le Programme National de Développement Economique et Social (PNDES) du Burkina Faso et est en cohérence avec la stratégie nationale de développement de l'agriculture irriguée. Il trouve sa justification dans les considérations ci-après :

- Contribution à la mobilisation et à la valorisation des ressources en eau ;
- Contribution à la réduction de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire en milieu rural ;
- Contribution à la préservation et à la protection de l'environnement.

Pour ce faire, le MEA à travers la DGIH a identifié des barrages dégradés ; l'un de ces barrages nous a été confié pour étude. Il s'agit du barrage de HOUNDE qui est la principale ressource en eau de sa localité. Le présent mémoire dont le thème s'intitule : « **Etudes de réhabilitation du Barrage de HOUNDE, Province du TUY, région des HAUTS BASSINS (Burkina Faso)** » retrace l'ensemble des travaux que nous avons mené. L'objectif étant de proposer des solutions techniques pour la réhabilitation du barrage.

Les missions qui nous sont assignées, se feront sous les directives de la Direction des opérations de Maintenance des Ouvrages hydrauliques (DMOH)

I.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE

I.2.1 OBJECTIF GENERAL

L'objectif général de la présente étude est la réalisation d'une étude d'avant-projet détaillé (APD), de la réhabilitation du barrage de HOUNDE dans la province du TUY.

I.2.2 OBJECTIFS SPECIFIQUES

Les objectifs spécifiques qui en découlent sont les suivants :

- ✓ Analyser et exploiter les études de base ;
- ✓ Évaluer les apports liquides (études hydrologiques) ;
- ✓ Faire un diagnostic de l'état actuel du barrage ;
- ✓ Proposer des options techniques de réhabilitation du barrage ;
- ✓ Faire l'étude d'impact environnemental et social ;
- ✓ Évaluer le coût (budget) pour la réhabilitation.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

II.1 PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

La Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH) est une direction centrale du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA), créée selon le décret N°2016-342/PRES/PM/MEA du 04 mai 2016 portant organisation du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement. Selon les dispositions de ce décret, le MEA comprend cinq (5) directions générales, qui sont des structures centrales qui exercent leurs missions sous le contrôle direct du Secrétariat Général :

- ✓ La Direction Générale des Etudes et Statistiques Sectorielles (DGESS) ;
- ✓ La Direction Générale de l'Assainissement (DGA) ;
- ✓ La Direction Générale de l'Eau Potable (DGEP) ;
- ✓ La Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) ;
- ✓ La Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH).

La DGIH a pour mission d'élaborer et de suivre la mise en œuvre des politiques et les stratégies nationales dans les domaines des infrastructures hydrauliques (ouvrages de mobilisation, de gestion et de distribution des ressources en eau), en relation avec les structures du département et celles des ministères techniques concernées.

A ce titre, elle est chargée :

- ✓ De contribuer à élaborer et à mettre en œuvre la stratégie nationale de réalisation des infrastructures et ouvrages hydrauliques à des fins agricoles, pastorales, minières de développement des ressources aquatiques et de tout autre usage ;
- ✓ De mener toutes études de recherches nécessaires à la maîtrise et à la connaissance des infrastructures hydrauliques ;
- ✓ D'assurer pour le compte du ministère, la tutelle technique des projets et programmes ;
- ✓ D'élaborer les études des infrastructures et ouvrages hydrauliques de mobilisation des eaux
- ✓ ...

La DGIH est dirigée par un Directeur général nommé par décret pris en conseil de ministre et elle comprend deux directions techniques :

- ✓ La Direction des Etudes et Travaux (DET) ;
- ✓ La Direction des Opérations de Maintenance des ouvrages hydrauliques (DMOH)

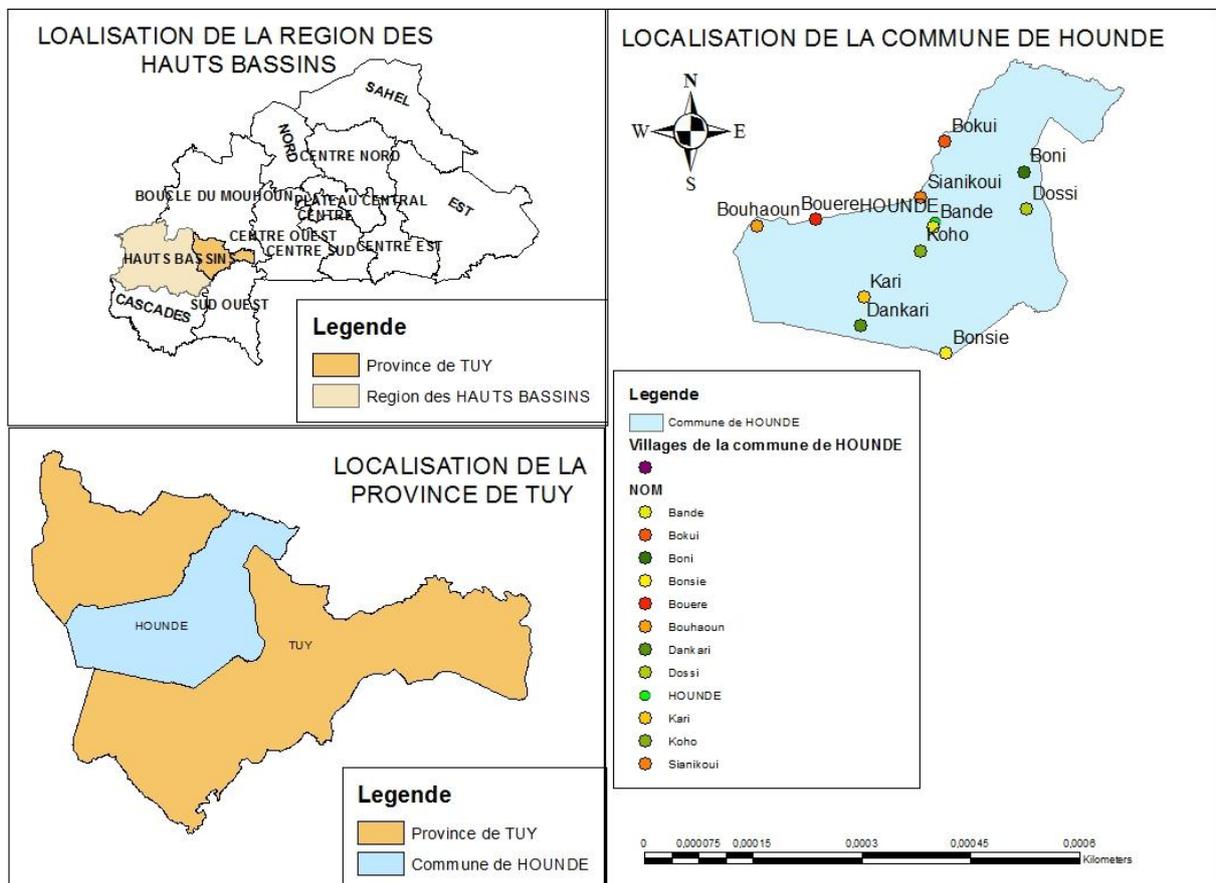
Notre stage s'est déroulé à la Direction de Maintenance des Ouvrages Hydrauliques (DMOH).

II.2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

II.2.1.1 Localisation

Le site du barrage se trouve dans le village de HOUNDE. Le village de HOUNDE se situe dans la commune de HOUNDE, dans la province du TUY, qui se trouve dans la région des HAUTS BASSINS au Burkina Faso, (figure 1). La ville de HOUNDE est le chef-lieu de la province du TUY, dans la région des Hauts-Bassins. Elle est située à 105 km de BOBO-DIOULASSO, et à 255 km au sud-ouest de OUAGADOUGOU sur la route nationale N°1 (RN1).



Auteur: EMMANUEL SOUKO

Date: Décembre 2018

Source: BNDT

Figure 1: Carte de situation de HOUNDE

Les coordonnées géographiques du barrage en UTM sont : **X= 440917** et **Y = 1270048**.



Figure 2: Image du barrage de HOUNDE (Décembre 2018)

II.2.2 SITUATION DEMOGRAPHIQUE

II.2.2.1 Population

Le dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH) de 2006 avait estimé la population de la commune de HOUNDE à 76 998 habitants avec un taux d'accroissement de 3,28 %. La population en 2018 de la commune est estimée à environ 116842 habitants. (PCD-AEPA HOUNDE, 2010-2014).

II.2.2.2 Mouvements migratoires

La migration est un phénomène social qui s'observe dans tous les villages de la commune. En effet, on note une importante présence de migrants (mossi et peulh notamment) venus des Régions du Nord, du Centre-Nord et du Plateau Central du Burkina Faso. Les départs saisonniers et quelques fois définitifs des jeunes vers les centres urbains (Bobo, Ouagadougou, etc.) et les pays voisins sont, selon les témoignages recueillis, peu nombreux en raison des fortes potentialités hydro-agricoles ou sylvopastorales de la localité. Ainsi, les immigrants seraient venus à la recherche de bonnes terres cultivables. L'arrivée massive des Mossi dans ces villages jadis peuplés par les populations Bwaba remonterait aux années 1970. Ces arrivées massives augmentent la pression qui s'exerce sur le foncier, réduisant la taille des parcelles cultivables disponibles. (PCD-AEPA HOUNDE, 2010-2014)

II.2.3 MILIEU PHYSIQUE

II.2.3.1 Relief

Le relief de HOUNDE est faiblement accidenté et orné de collines ou buttes cuirassées latéritiques. Ces collines occupent la partie Est, Ouest et Nord de la ville. Elles ont une hauteur qui varie de 100 à 300m. La commune est située sur un sillon birrimien, datant de l'époque du précambrien, et qui s'étend du Mali à la Côte d'Ivoire. Ce sillon est composé de roches métamorphiques (essentiellement schisteuses) et de cuirasses latéritiques, riches en fer. Ces formations volcano sédimentaires, confèrent à la commune des ressources minières abondantes, notamment le manganèse, exploité à Kiéré, et des sites aurifères à Kari, Dohoun, Tiomboni, Bouéré, Koho. Les buttes latéritiques sont, en outre, exploitées de façon artisanale pour l'extraction de matériaux de construction tels que les briques de latérite taillée (BLT). (PCD-AEPA HOUNDE, 2010-2014)

II.2.3.2 Climat

Les caractéristiques climatiques de la commune de HOUNDE située dans la zone sud soudanienne, sont étroitement liées à l'activité du front intertropical (FIT) qui est la zone de convergence d'une masse d'air austral, humide, et d'une masse d'air nordique, sec. L'alternance des saisons est liée au déplacement du FIT : lorsque celui-ci se déplace vers le sud, c'est l'installation de la saison sèche caractérisée par des vents frais et secs, puis chauds et secs. Et lorsqu'il se déplace vers le nord, c'est l'installation de la saison des pluies. Le climat est caractérisé par deux grandes saisons : Une saison humide de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. (PCD-AEPA HOUNDE, 2010-2014).

II.2.3.3 Hydrographie

Le réseau hydrographique est assez dense mais malheureusement, il ne constitue que les parties supérieures de grands fleuves comme le Mouhoun, la Bougouriba, le Tuy (grand Balé). Les eaux sont ainsi drainées vers ces fleuves situés hors du département sauf le TUY (grand balé) qui longe le département dans sa partie nord en la limitant avec la province des Balés. (PCD-AEPA HOUNDE, 2010-2014)

II.2.3.4 Environnement

➤ La végétation

Le territoire de la commune de HOUNDE, connaît des formations végétales riches et diversifiées parmi lesquelles on rencontre divers types de savanes, dont la densité des espèces ligneuses varie d'une zone à l'autre :

- Les savanes herbeuses des affleurements de cuirasse, composées essentiellement de graminées non ligneuses ;
- Les savanes arbustives des glacis et des zones gravillonnaires, essentiellement composées d'espèces ligneuses dispersées et de faible hauteur ;
- Les formations anthropiques récentes (les jachères) ; la strate arborée des jachères récentes se compose d'essences protégées, telles que *Vitellaria paradoxa* (le Karité), *Parkia biglobosa* (le Néré), etc. ;
- Les savanes arborées des zones soudaniennes à sols ferrugineux, dans lesquelles on retrouve, parmi les espèces les plus connues : *Vitellaria paradoxa* (le Karité), *Tamarindus indica* (le Tamarin), *Parkia biglobosa* (le Néré), *Adansonia digitata* (le Baobab), *Eucalyptus camaldulensis* (l'Eucalyptus), etc. ;
- Enfin les forêts galerie : formations denses des vallées ; elles se rencontrent dans les dépressions souvent sous forme de ceinture le long des cours d'eau. (PCD-AEPA HOUNDE, 2010-2014)

➤ La faune

L'existence des 3 forêts classées dans le département fait que la faune est abondante et diversifiée. On rencontre de gros gibier tel que les éléphants, les buffles, les cobs, les guibs harnachés. En ce qui concerne les petits gibiers, il s'agit des porcs - épics (Ténou) ; des rats voleurs (Fero), des pintades sauvages (Tuba), des lièvres, biches, hérissons, etc. Les gibiers sont concentrés surtout dans les villages situés au Nord de la commune (Kiéré, Touaho), à l'ouest (Bouéré, Bouahoun, Laho, Boho – Kari) et au Sud – ouest (Dankari). Cependant, la DPECV et la DPRA font également état de la disparition de certaines espèces animales à cause de l'utilisation accentuée de pesticides et d'autres produits phytosanitaires dans l'agriculture. Il s'agit notamment de la disparition des abeilles et de cas de mortalité élevée de poissons à cause de la contamination des cours d'eau lors des premières pluies. (PCD-AEPA HOUNDE, 2010-2014)

➤ **L'exploitation minière**

La formation volcano-sédimentaire des sols de la commune lui confère des ressources minières abondantes, notamment le manganèse, exploité à Kiéré, et des sites aurifères à Kari, Dohoun, Koho Tiomboni et Bouéré. L'exploitation de la mine de manganèse a récemment débuté par la société Burkina Manganèse SARL. Quant à l'exploitation de l'or, les explorations continuent notamment par les sociétés ACC et Goldbelt (cette dernière ayant suspendu ses activités depuis décembre 2008) pour pouvoir déterminer avec précision la teneur en or dans la zone et envisager l'implantation de mines officielles. Pour le moment, l'exploitation de l'or se fait de façon artisanale et industrielle. Cette exploitation aurifère a un impact négatif sur l'environnement biophysique et humain. En effet, d'importantes superficies de couvert végétal disparaissent à chaque découverte de site aurifère et l'utilisation artisanale du mercure et du cyanure provoque de graves pollutions des eaux. (PCD-AEPA HOUNDE, 2010-2014)

III. PRESENTATION DU PROJET

III.1 DIAGNOSTIC DU BARRAGE DE HOUNDE

III.1.1 HISTORIQUE DU BARRAGE

La recherche documentaire sur le barrage de HOUNDE a été difficile compte tenu des données manquantes sur l'évacuateur des crues et l'ouvrage de prise. Selon la base de données de la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH), le barrage a été réalisé en 2006 (Tableau 2).

Tableau I : Caractéristiques du barrage avant la réhabilitation

Caractéristiques du barrage avant la réhabilitation	
Type de l'ouvrage	Barrage homogène en terre
Côte de calage de la digue	328,50 m
Hauteur maximale de la digue	4,75 m
Largeur en crête	3,5 m
Pente talus amont	2,5H/1V
Pente talus aval	2H/1V
déversoir	En rive droite fait en béton cyclopéen
Côte de calage du déversoir	327,5 m
Longueur du déversoir	30

III.2 ETAT DU BARRAGE AVANT REHABILITATION

III.2.1 La Digue

Le barrage de HOUNDE constitue l'ouvrage hydraulique principal dominant dans la zone. La digue du barrage est longue de 1495 m et une largeur en crête de 3,5 m. C'est un barrage homogène en terre. Il existe de muret de crête (à l'aval et à l'amont) et les talus du barrage sont envahis par une végétation arbustive moyennement dense (photo A). La pente du talus amont

est de 2,5H/1V et celle du talus aval est de 2H/1V (photo B). On constate aussi une infiltration sous la digue à des endroits.

La protection du talus amont en perré sec, est moyennement dégradée avec des affaissements ponctuels à certains endroits. Le talus aval n'est pas protégé et comporte des griffes d'érosions très marquées à plusieurs endroits (photo B).



Figure 3: Les anomalies identifiées sur digue du Barrage de HOUNDE

III.2.2 Le Déversoir

Le déversoir est constitué d'un seuil déversant de 30 m en bon état. L'aval du voile est protégé par un béton cyclopéen. Les blocs chicane du bassin de dissipation sont dégradés. Les protections en gabions et en enrochement en aval du déversoir sont désorganisées.



Figure 4 : L'évacuateur de crue du Barrage de HOUNDE

III.2.3 Ouvrage de prise

Le barrage dispose d'un ouvrage de prise non fonctionnel parce qu'il a été mal calé. L'ouvrage comporte une conduite en fonte de 400 mm de diamètre. Il y a des puits qui sont utilisés pour retenir l'eau pour être utilisée pour la culture (photo B).



Figure 5: Ouvrage de prise du Barrage de HOUNDE et un puit

III.2.4 L'aval du barrage

A l'aval du barrage il existe un périmètre irrigué de 30 ha aménagé. L'irrigation se fait à l'aide des motopompes. Les motopompes tirent l'eau pour les mettre dans les canaux et l'eau est transitée dans les parcelles de façon gravitaire.



Figure 6: L'aménagement à l'aval du Barrage de HOUNDE

III.3 TABLEAU RECAPITULATIF DU DIAGNOSTIC DU BARRAGE

Tableau II: Diagnostic des ouvrages

Partie de l'ouvrage		Pathologie	Niveau de pathologie	Cause identifiée / possible
DIGUE	Talus aval (image B)	Griffes d'érosion sur talus aval de la digue	L'ouvrage fonctionne avec des dégradations majeures	Ruissellement des eaux de pluies dû à : Bordure de crête aval endommagée Mauvais compactage de la latérite ou épaisseur faible
		Présence d'arbres ou d'arbustes au pied du talus aval	L'ouvrage fonctionne avec des dégradations mineures	Manque d'entretien
		Désorganisation du perré du talus amont		Manque d'entretien Problème de mise en œuvre Présence des animaux
	Talus amont (image C)	Présence d'arbres ou d'arbustes sur le talus amont		Dépôt de graines humidité
		Pente non uniforme (présence d'irrégularité de niveau entre l'amont et l'aval)	L'ouvrage fonctionne avec des dégradations mineures	
	Crête (image A)	Fuites d'eau à travers à travers les joints water stop et à certains endroits du béton	L'ouvrage fonctionne avec des dégradations mineures	Manque d'entretien

EVACUATEUR DE CRUE	Déversoir (image B)	Présence de plantes au niveau des joints water stop	L'ouvrage fonctionne avec des dégradations mineures	Manque d'entretien Mal dimensionné
		Bassin de dissipation en mauvais état	L'ouvrage fonctionne avec des dégradations majeures	
	Bassin de dissipation (image A)	Désorganisation des enrochements du chenal d'évacuation	L'ouvrage fonctionne avec des dégradations majeures	
	Chenal d'évacuation	Corrosion obstruée		
OUVRAGE DE PRISE	Tuyau	Néant		Mal dimensionné Défaut de conception
	Regard	Non manœuvrable		
	Vannes	Inexistant		
	Repère topographie	Insuffisant		Défaut de conception
	Dispositif de mesure (une échelle limnimétrie)			

III.4 ETUDE DE BASE

III.4.1 SYNTHÈSE DES ETUDES TOPOGRAPHIQUES

III.4.1.1 Synthèse

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

La mise en place de polygones de base ayant servi d'ossature pour les levés de détail

- ✓ Les levés de terrain naturel (TN), de l'axe et de la cuvette ont été effectués à ne partir de points de cette polygone avec une équidistance de 50 m pour donner le maximum d'information tout en prenant les points de détails particuliers.
- ✓ Afin de lever tous les points du terrain avec un maillage serré et donner le maximum d'information, l'équipe a employé une méthode bathymétrique vue que la cuvette était pleine au moment des levés.
- ✓ D'un point de vue planimétrique, la polygone de la cuvette a été rattachée à deux bornes.

III.4.1.2 Analyse

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

- ✓ La courbe Hauteur-Volume dérive du cumul des volumes partiels compris entre deux courbes de niveau successives (figure 7).
- ✓ La courbe Hauteur-Surface est dressée sur la base de la planimétrie des différentes courbes de niveau de la cuvette (figure 8).

Pour les données de la courbes hauteur-volume hauteur-surface voir ([ANNEXE 1](#) : Note de calculs

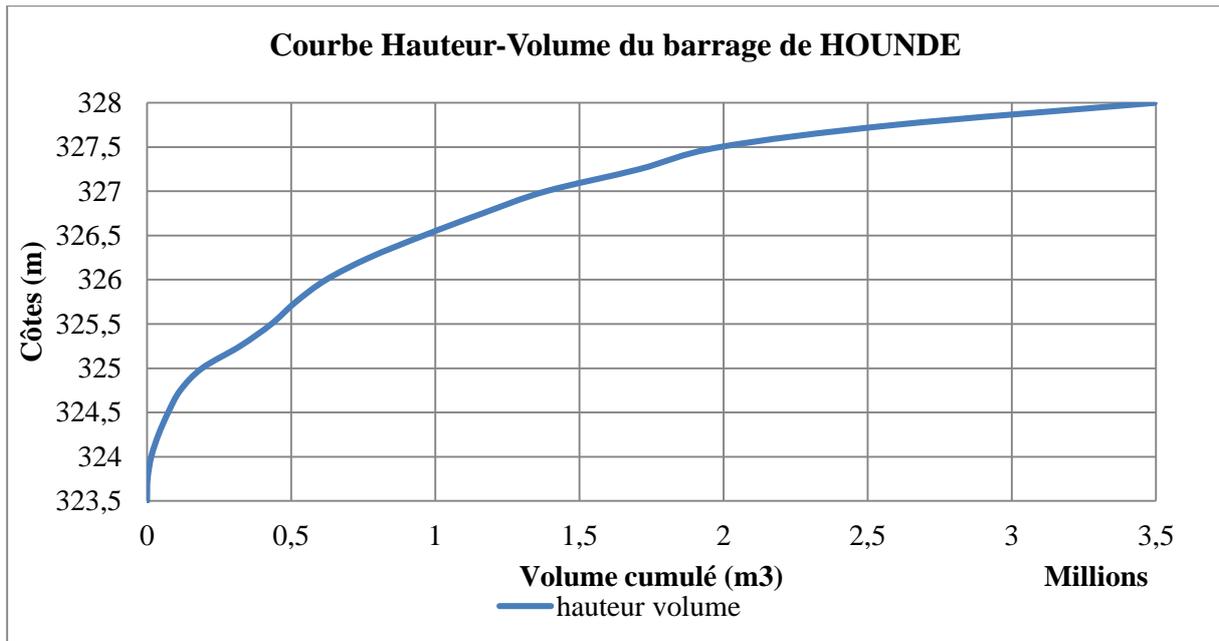


Figure 7: Courbe Hauteur-Volume du barrage de HOUNDE

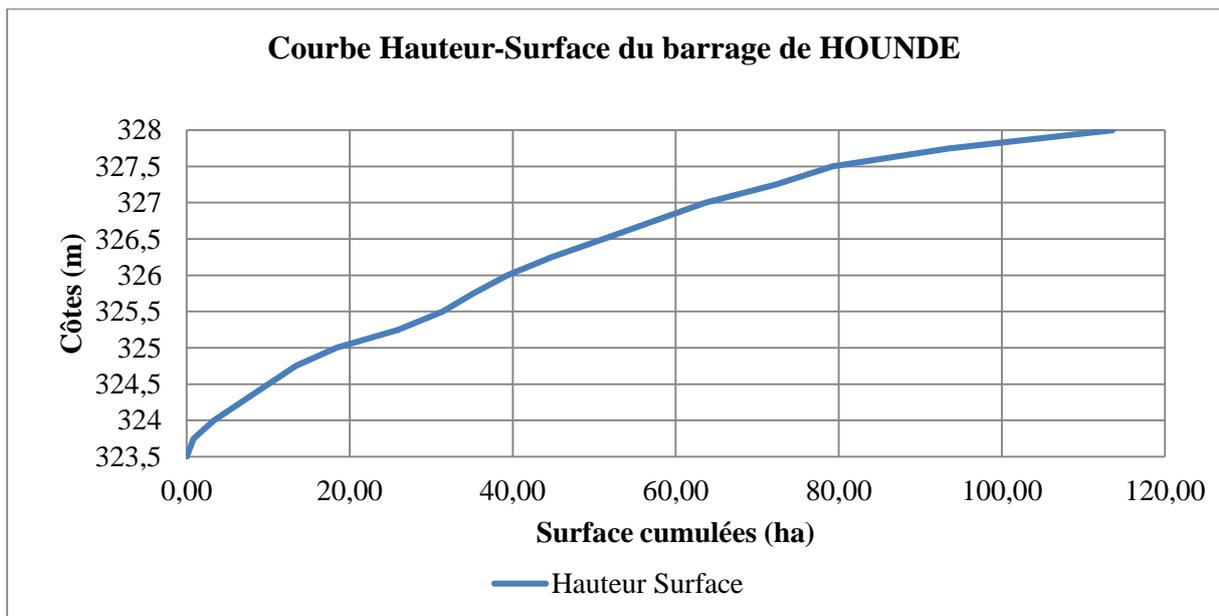


Figure 8: Courbe Hauteur-Surface du Barrage de HOUNDE

III.4.2 SYNTHÈSE DES ÉTUDES SOCIO-ÉCONOMIQUES

La réhabilitation a pour objectif global de contribuer à la croissance économique durable de la commune par la sécurisation et l'amélioration des productions et revenus des producteurs face aux changements climatiques.

Des groupes cibles ont été retenus pour les études agro-socio-économiques les services et personnes-ressources suivants : les services administratifs, les services techniques décentralisés

de l'Etat en charge de l'Agriculture, de l'Hydraulique, des Ressources animales et halieutiques, de l'Environnement, les services de la Santé, les services de l'Education, les Organisations professionnelles agricoles (OPA) et organisations de la société civile (OSC) exerçant dans la localité de HOUNDE, et surtout les centres de décisions au niveau villageois (responsables coutumiers et religieux, Conseil Villageois de Développement (CVD)).

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

III.4.3 SYNTHÈSE DES ETUDES HYDROLOGIQUES

Les données pluviométriques considérées sont celles de la station synoptique de HOUNDE qui est la plus proche du site. Les relevés considérés s'étalent sur une période allant de 1980 à 2016. Les données pluviométriques sont reportées en ([ANNEXE 2](#) : Données pluviométriques)

III.4.3.1 Analyse statistique des données pluviométriques

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

Les résultats sont consignés dans le tableau (5)

Tableau III: pluviométries annuelles et journalières pour différentes périodes de retour

Période de retour (année)	Période humide						Période sèche				
	1000	100	50	20	10	2	1000	100	50	20	10
Quantiles annuelles (mm)	1300	1180	1140	1080	1030	834	371	486	527	588	642
Quantiles journalières (mm)	137	109	101	90,2	81,6	59,3	32	36,8	38,8	41,9	45

L'analyse pluviométrique montre que la pluviométrie annuelle est de **834 mm** en années moyenne et la pluviométrie journalière décennale P10 est de **81,6 mm**.

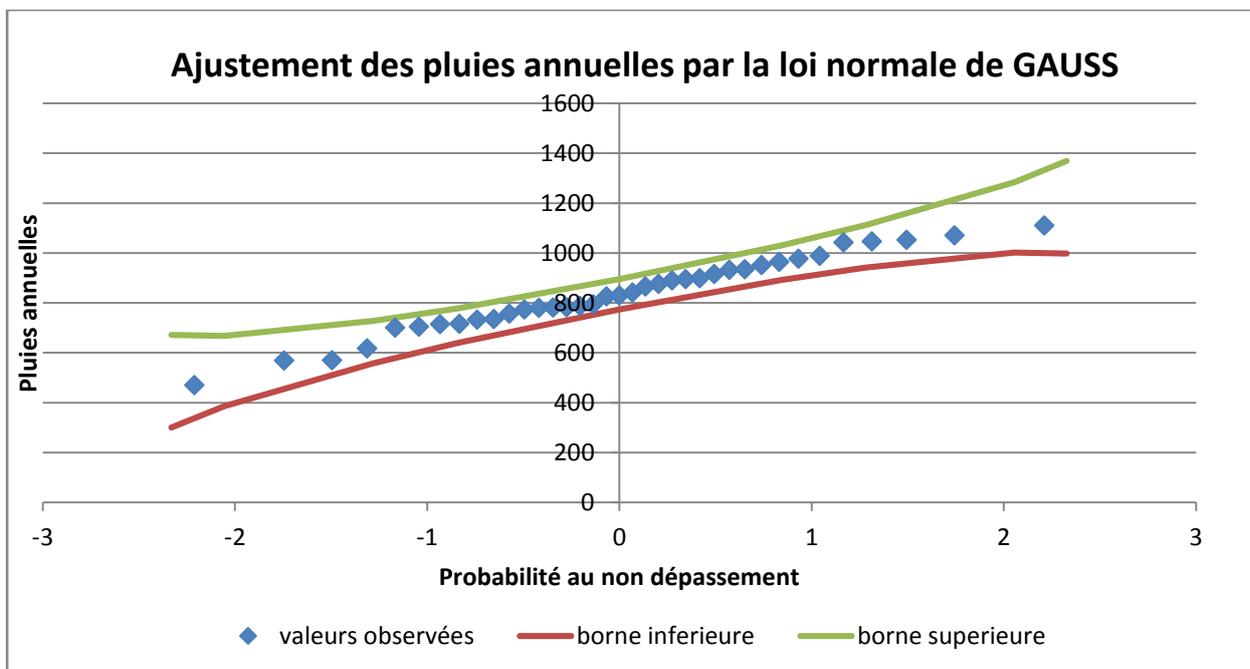


Figure 9: Ajustement des pluies annuelles de HOUNDE par GAUSS

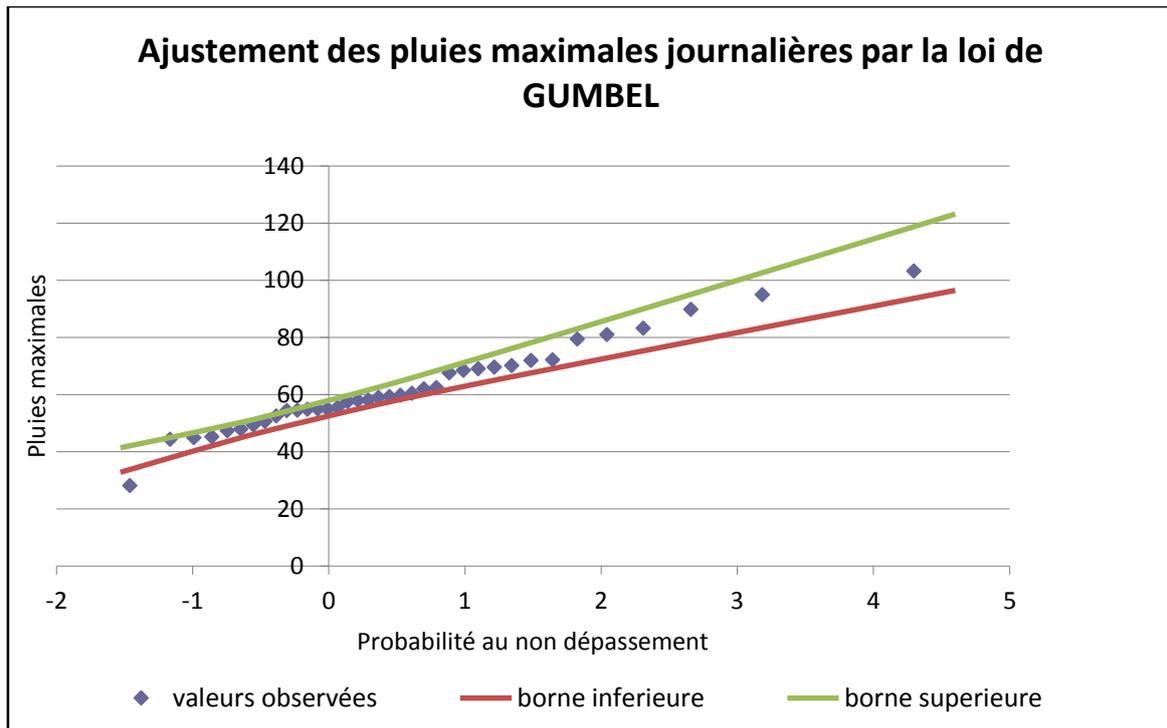
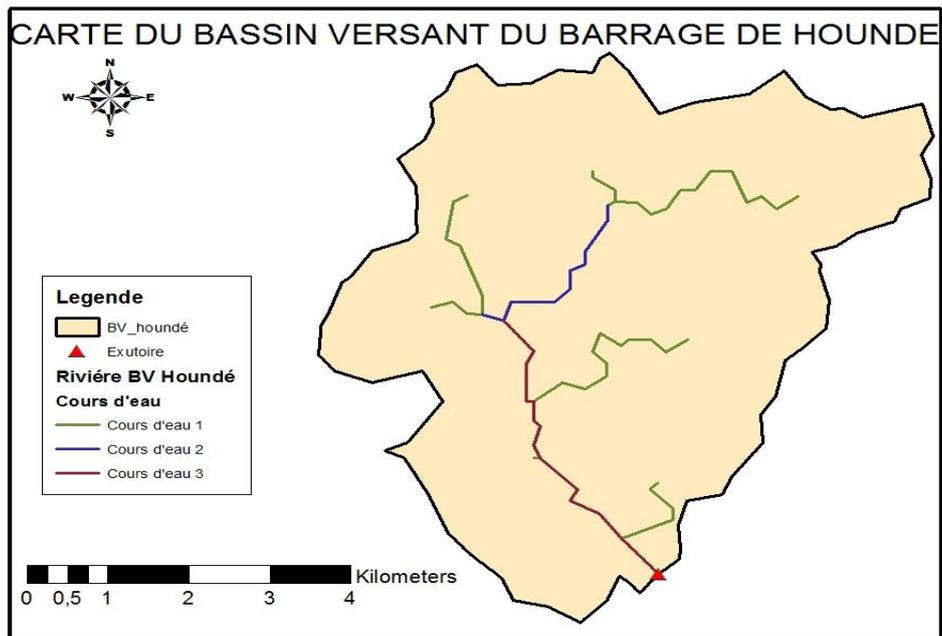


Figure 10: Ajustement des pluies maximales journalières de HOUNDE par GUMBEL

III.4.3.2 Caractéristiques du Bassin Versant

Le bassin versant se définit comme étant la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons le délimiter. (KARAMBIRI, H & NIANG, D, 2011-2012) Les paramètres physiques tels que la superficie et le périmètre ont été obtenus grâce au logiciel ARCGIS.

Il a une superficie de **37 Km²** et un périmètre de **29 Km**.



Auteur: EMMANUEL SOUKO

Date: Septembre 2018

Source BNDT

Figure 11: Bassin Versant du barrage HOUNDE

- **Courbe hypsométrique**

C'est la répartition de la superficie du bassin en fonction de l'altitude. Elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin. (KARAMBIRI, H & NIANG , D, 2011-2012).

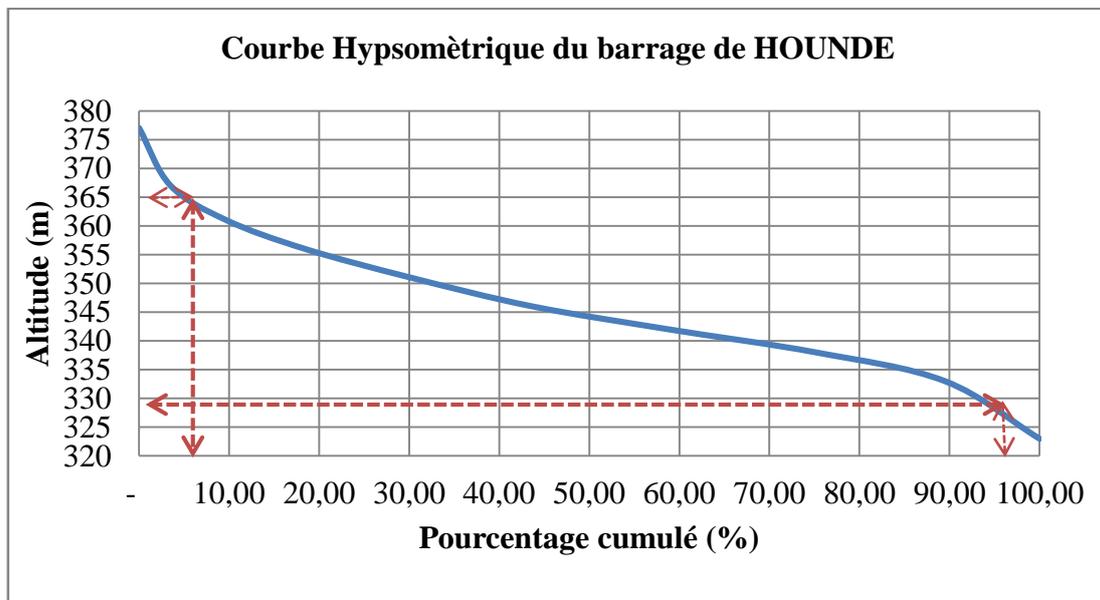


Figure 12: Courbe Hypsométrique du barrage de HOUNDE

- **Perméabilité du bassin versant**

La perméabilité est l'aptitude du terrain à l'infiltrer. Ce terme infiltration est utilisé de préférence à celui de la perméabilité ou coefficient de perméabilité (FAO.54, 1996). On utilisera la carte géologique du Burkina Faso pour identifier les différents types de sols du bassin versant. L'exploitation de cette carte montre que le sol du bassin-versant du barrage de HOUNDE est composé en majorité de schistes, des sols gravillonnaires, des granites et de l'argile. Le bassin versant de HOUNDE est donc un bassin versant de classe RI qui correspond à un bassin relativement imperméable avec un couvert végétal moyennement dense. On adoptera une classe de perméabilité en P3 ou RI selon la catégorisation de l'ORSTOM. ([ANNEXE 1](#) : Note de calculs).

Les différentes caractéristiques du bassin versant sont consignées dans le tableau V:

Tableau IV: Caractéristiques du Bassin Versant de HOUNDE

Caractéristiques du Bassin Versant de HOUNDE	
Superficie (km ²)	37
périmètre (km)	29
Longueur totale cours d'eau L (km)	19
Cote maximale Hmax (m)	377
Cote minimale Hmin (m)	323
Longueur de la rivière principale (km)	11
Altitude à 5% H5% (m)	365
Altitude à 95% H95% (m)	328
Indice de compacité de Gravelius	1,35
Longueur du rectangle équivalent L (km)	11,23
Densité de drainage (km/km ²)	0,52
hiérarchie du cours d'eau	3
Pente moyenne du cours d'eau (m/km)	8,91
indice global de pente (m/km)	3.3
Dénivelé spécifique DS (m)	26
Infiltrabilité des sols	RI(P3)
Pente transversales moyennes	7,28
Indice de pente corrigé Ig corr	4,62

III.4.3.3 Prédétermination de la crue du projet

La crue du projet nous avons utilisé les méthodes de ORSTOM et CIEH pour les débits décennaux et GRADEX pour le débit centennal. Les paramètres de calcul ainsi que les résultats issus des calculs de débit sont consignés dans les tableaux suivants :

Tableau V: Paramètres de calcul des débits

Indice global des pentes $I_{g.corr}$	Temps de base T_b	Temps de montée T_{m10}	Coefficient de ruissellement décennal K_{r10}
4,62	1194,34 mn	394,13 mn	20,52%

Tableau VI: Les débits obtenus par les différentes méthodes

Le débit projet							
Méthode	CIEH			ORSTOM	GRADEX		
Débit en m^3/s	Q1	Q2	Q	Q	Q10	C	Q100
	30,84	29,94	30,37	19,76	30,37	2,6	78,98

Pour le cas de notre bassin versant qui est relativement imperméable, le Check Liste de FAO 54 recommande d'utiliser la formule de régression CIEH donnant directement Q10. Cette méthode donne deux valeurs selon les équations (39, 40) de Q10. La moyenne de ces deux valeurs obtenues à partir des équations (39, 40) a été utilisée dans le calcul de Q100. N'ayant pas de données de base de dimensionnement du barrage actuel, à partir des côtes de calage et du débit de projet calculé précédemment, une vérification sur les ouvrages du barrage sera effectuée. Cette vérification permettra de savoir si le déversoir actuel est capable d'évacuer la crue de projet, et aussi les conditions de dimensionnement de celui-ci.

IV. MATERIELS ET METHODES

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

IV.1 MATERIELS

Pour mener à bien notre étude, nous avons utilisé les matériels suivants pour atteindre les objectifs fixés :

- ✓ **L'étude diagnostique** : un appareil photo a été utilisé afin de mieux visualiser certaines pathologies qui n'auraient pas été perçues sur le terrain immédiatement. Le ruban a permis de prendre des mesures sur le terrain. Un bloc note et un stylo pour noter les pathologies observées.
- ✓ **La délimitation du bassin versant** : nous avons tout d'abord identifié notre barrage grâce aux images de GOOGLE EARTH PRO, ensuite nous avons enregistré un point de la digue que nous sommes allés ouvrir sur Global Mapper V.16 pour délimiter notre zone d'étude et créer le DEM. Après la création du DEM nous sommes allés sur ARCGIS 10.3 pour la délimitation du bassin versant avec son réseau hydrographique, les données de la courbe hypsométrique, les données de la courbe Hauteur-Volume Hauteur Surface.
- ✓ **L'élaboration des cartes** : le logiciel ARCGIS a facilité l'élaboration des différentes cartes de notre étude.
- ✓ **Traitement statistiques des données** : les données pluviométriques ont été traitées sur Excel.
- ✓ **Les calculs et la rédaction** : pour les différents calculs, Excel nous a été d'une grande utilité avec les programmes des calculs conçus à cet effet. La rédaction s'est faite sur Word.

IV.2 METHODES

IV.2.1 Etudes de diagnostiques

La démarche adoptée pour cette phase est la suivante :

- ✓ Une collecte des données sur le barrage : recherche documentaire
- ✓ Une visite sur le site afin de mieux diagnostiquer les problèmes constatés sur les ouvrages du barrage, ainsi que les causes et les conséquences.

IV.2.2 Etudes de base

Ce volet va s'appuyer sur :

- ✓ La collecte et le traitement des données climatiques du site du projet, nous permettra de caractériser notre site
- ✓ l'analyse des données topographiques nous a permis de reconstituer la courbe Hauteur-Volume Hauteur Surface du barrage. (GUEYE, 2013).

$V_{n+1} = \frac{(S_n + S_{n+1})}{2} * h$	<p>V_{n+1} : volume du bassin versant en m³ ;</p> <p>S_n : surface du plan d'eau correspondant à la courbe n (ha) ;</p> <p>S_{n+1} : surface du plan d'eau correspondant à la courbe n+1 (ha) ;</p> <p>h : dénivelée entre deux courbes de niveau n et n+1 (m).</p>
---	--

- ✓ L'analyse des résultats géotechnique nous permettra d'approfondir le diagnostic par la détermination des causes de nature géotechnique sur les pathologies, et de connaître les zones d'emprunts ;
- ✓ L'étude hydrologique : Cette étude se fait sur la base des données climatiques qui nous permettra de déterminer la crue de projet.

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

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

- Méthode de CIEH

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

$Q_{10} = a * S^S * P_{an}^P * I_g^i * K_{r10}^K * D_d^d$	<p>a,s,i,p,k,d : coefficients</p> <p>S : la superficie du bassin versant(Km²) ;</p> <p>P_{an} : pluie annuelle (mm) ;</p> <p>I_g : indice global de pente</p> <p>K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal</p> <p>D_d : densité de drainage (km⁻¹).</p>
---	---

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

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

- Equation N°39 : Formulation pour le Burkina Faso en fonction de S et Kr10
- Equation N°40 : Formulation pour le Burkina Faso en fonction de S, I_g et Kr10.
 - Méthode de ORSTOM

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

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

$Q_{r10} = mA * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}}$	<p>S : la superficie du bassin versant(Km²) ;</p> <p>P₁₀ : pluie journalière maximale décennale (mm) ;</p> <p>K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal ;</p> <p>T_b : temps de base de la crue décennale (mn)</p> <p>A : coefficient d'abattement.</p>
---	--

- Méthode de GRADEX

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

Le barrage de HOUNDE est considéré comme un petit barrage au regard de sa superficie et de son périmètre. (CNBB, 2015). De ce fait une période de retour de 100 ans est retenue pour le calcul du débit de projet. La crue centennale sera retenue pour la vérification hydraulique du déversoir. L'expression de la formule de GRADEX est la suivante :

$Q_{100} = C_{100} * Q_{10}$ $\text{avec } C_{100} = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} * \frac{\left(\frac{Tb}{24}\right)^{0.12}}{K_{r10}}$	<p>Q100 : crue centennale (m³/s) ;</p> <p>Q10 : crue décennale (m³/s) ;</p> <p>P10 : pluie journalière maximale décennale (mm) ;</p> <p>P100 : pluie journalière maximale de la période de retour de 100 ans ;</p> <p>Tb : temps de base de la crue décennale (mn)</p> <p>Kr10 : coefficient de ruissellement décennal.</p>
---	---

IV.2.3 Vérification du dimensionnement des ouvrages et propositions de réhabilitation

- ✓ Vérification du dimensionnement des ouvrages

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

- La largeur en crête de la digue

La vérification se fera par ces formules empiriques :

Formule de KNAPPEN

$Lc = 1,65\sqrt{H}$	Lc : largeur en crête ; H : hauteur de la digue
---------------------	--

Formule de PREECE

$LC = 1,1\sqrt{H} + 1$	Lc : largeur en crête ; H : hauteur de la digue
------------------------	--

- La revanche libre

Il existe plusieurs formules basées notamment sur la vitesse du vent et la longueur du plan d'eau (ou Fetch) F.

Formule de MALLET et PACQUANT

La hauteur des vagues h est

$h = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} * \sqrt{f}$	h : hauteur es vagues ; f : fetch
--	--

La vitesse de propagation des vagues doit être comprise en 0,5 à 2 m/s

$V = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} * h$	V : vitesse des vagues (m/s) ; h : hauteur des vagues
$R = A * \left(h + \frac{V^2}{2 * g} \right)$	R : revanche ; A : Coefficient de sécurité, V : vitesse des vagues (m/s).

Formule de GAILLARD

$V = 1,5 + \frac{2}{3} * h$	V : vitesse des vagues (m/s) h : hauteur des vagues (m)
$R = 0.75 * h + \frac{V^2}{2 * g}$	R : revanche ; V : vitesse des vagues (m/s) h : Hauteur des vagues (m).

- Lamme d'eau au-dessus du déversoir

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

$Q = m * L * (2 * g)^{1/2} * h^{3/2}$	Q (m ³ /s) : le débit de projet ; L (m) : Longueur du seuil déversant m : Coefficient de débit ; h (m) : charge au-dessus du seuil g (m/s ³): Accélérateur de pesanteur
---------------------------------------	---

Connaissant les autres paramètres sauf la hauteur (h), l'expression en fonction des autres paramètres donne :

$h = \left(\frac{Q}{m * L * (2 * g)^{1/2}} \right)^{2/3}$	Q (m ³ /s) : le débit de projet ; L (m) : Longueur du seuil déversant m : Coefficient de débit ; h (m) : charge au-dessus du seuil g (m/s ³): Accélérateur de pesanteur
--	---

- Apports liquide selon la méthode RODIER

D'après Rodier, on peut admettre d'une manière générale que dans la zone tropicale sèche, la pluie médiane est très sensiblement égale à la pluie moyenne.

La lame d'eau ruisselée en année médiane $Ler = K_{r10} * P_{med}$

$V = Ke \times S \times P$	<p>V : volume (m³)</p> <p>Ke : coefficient d'écoulement</p> <p>S : superficie du bassin versant (Km²)</p> <p>P : pluie annuelle (mm)</p>
----------------------------	--

- Apports solides

Plusieurs méthodes existent pour estimer le volume des apports solides parmi lesquelles celle de GOTTSCHALK et celle de CIEH-EIER encore appelé GRESILLON.

Formule de GOTTSCHALK :

la dégradation: $D(m^3/km^2 /an) = 260 * S^{0,1}$ Avec **S** : la superficie du bassin versant

$V(m^3 /an) = D * S$	<p>D : dégradation en (m³/km²/an) ;</p> <p>S : superficie en (km²/an).</p> <p>V : volume (m³/an)</p>
----------------------	---

Formule de CIEH-EIER (GRESILLON)

$D = 700 * (P/500)^{-2,2} * S^{-0,1}$	<p>D= dégradation spécifique en m³/km²/an ;</p> <p>S= Superficie du Bassin Versant (km²) ;</p> <p>P= Pluviométrie moyenne annuelle (mm).</p>
---------------------------------------	--

- Estimation de l'évaporation

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

$E_{Lac} = E_{ret} = 1,664x(E_{BacA})^{0,602}$	<p>E_{Lac} : Evaporation Lac (mm/jour)</p> <p>E_{bac} : Evaporation bac (mm/jour)</p>
--	---

- Estimation de l'infiltration

Le sol constituant la retenue n'a pas toujours les qualités d'imperméabilité requises pour conserver les eaux. Toutefois en général, les pertes d'eau par infiltration dans la cuvette ou au travers de la digue sont peu limitées et on peut les estimer à environ **1,5 mm/jr** en moyenne. Cette valeur est choisie en tenant compte du contexte de l'étude, de l'ancienneté du barrage mais aussi de la zone sahélienne. On ne tiendra pas compte de cette donnée pendant la saison des pluies du fait d'une certaine compensation durant cette période.

- Evaluation des besoins en eau agricoles

L'activité agricole est importante autour du barrage de HOUNDE. On y cultive plusieurs types de cultures d'où la nécessité d'avoir une estimation des besoins en eau agricole dans le souci de s'assurer de la suffisance du barrage vis-à-vis de la demande. On évalue les besoins en eau des cultures en tenant compte des paramètres tels que la surface à irriguer, l'infiltration ainsi que l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Nous allons considérer dans le cadre de notre étude la culture la plus contraignante qui est le chou dans la zone. Les enquêtes terrain ne nous ont pas permis d'avoir avec exactitude la surface à irriguer, mais nous sommes convenus de considérer une surface d'environ 30 ha pour l'estimation des besoins. Le logiciel CROP WAT nous a permis d'avoir les valeurs de l'ET0 et la pluie efficace (Pe) ; que nous avons utilisé pour déterminer ETM en fonction de la période de floraison.

- ✓ Proposition de la réhabilitation

- Seuil déversant du déversoir

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

$Q = m * L * (2 * g)^{\frac{1}{2}} * h^{3/2}$	<p>Q (m³/s) : le débit de projet ;</p> <p>L (m) : Longueur du seuil déversant</p> <p>m : Coefficient de débit ;</p> <p>h (m) : charge au-dessus du seuil</p> <p>g (m/s²): Accélérateur de pesanteur</p>
---	--

- Etude de la stabilité du barrage

Pour le poids propre du déversoir, nous avons décomposé sa géométrie en élément simple (rectangle, triangle) et avec un poids volumique du béton de 24 kN/m^3 , déterminer les poids élémentaires par la formule ci-dessous :

$W_i = Y_i * S_i$	W_i : Poids propre de l'ouvrage, Y_i : Poids volumique du l'ouvrage, S_i : Surface partielle.
-------------------	---

Le barrage étant soumis à une lame d'eau déversante de hauteur h en situation de PHE, nous aurons une poussée hydrostatique à l'amont donnée par :

$P_{hydro} = \frac{1}{2} y_w * H(H + 2h)$	P_{hydro} : Poussée hydrostatique y_w : Poids volumique de l'eau, H : Hauteur du déversoir, h : Hauteur de l'eau au-dessus du déversoir
---	--

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

Pour la poussée des sédiments on a : $P_{sédim} = \frac{1}{2} y_i h^2 \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$ en KN/ml .

La stabilité au glissement :

Pour la stabilité au glissement, on compare la force tangentielle admissible au glissement sous le mur avec la composante réellement appliquée. Il y'a stabilité si :

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

La stabilité au renversement :

L'étude de stabilité au renversement consiste à calculer par rapport au point B, les moments des forces motrices et forces résistantes. On écrit le rapport des moments stabilisants sur des

moments renversants, considéré comme coefficient de sécurité au renversement. Il y a stabilité au renversement si le coefficient de renversement $FR > 1,5$.

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

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

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

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

IV.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.3.1 RESULTATS

IV.3.1.1 VERIFICATION DES DIMENSIONS DE LA DIGUE

Pente de talus

La hauteur totale du barrage est de 4,75 m. Les talus sont choisis en adéquation avec quelques valeurs forfaitaires de dimensionnement des pentes des talus de digues de barrage afin d'assurer leurs stabilités. Les pentes sont choisies dans le tableau VIII :

Tableau VII: Critères de choix de différentes pentes

Hauteur du barrage	Type de barrage en terre	Fruit des talus	
		Amont	Aval
Inférieur à 5 m	Homogène ou à zones	2	2
5 à 10 m	Homogènes, granulométrie étendu	2,5	2,25
	Homogène à fort pourcentage d'argile	2,75	2,25
	A noyau et recharges grossières	2,25	2
10 à 15 m	Homogène, granulométrie étendu	2,75	2
	Homogène à fort pourcentage d'argile	3	2,5
	A noyau et recharges grossières	2,5	2,25

Source : (Durand, 1999)

Nous avons une digue homogène à fort pourcentage d'argile de hauteur 4,75 m. Il est donc recommandé par (DURAND J.-M. , 1999) une pente de talus amont de 2,75H/V et aval de 2,25H/1V.

Largeur en crête :

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

Formule de KNAPPEN

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

$$L_c = 1,65\sqrt{4,75} = \mathbf{3,6m}$$

Formule de PREECE

$$L_c = 1,1\sqrt{H} + 1$$

$$L_c = 1,1\sqrt{4,75} + 1 = \mathbf{3,4 m}$$

Donc la largeur en crête maintenue est de **3,5 m**.

IV.3.1.2 VERIFICATION DE L'EVACUATEUR DE CRUE

Un évacuateur de crue est un organe de sécurité qui permet d'éviter le débordement non contrôlé d'une retenue et protège le barrage et les ouvrages annexes contre un déversement qui pourrait entraîner des dégâts dus à l'érosion et aux instabilités (GRESILLON). N'ayant pas le débit de base de dimensionnement du barrage actuel, il est difficile de connaître la lame d'eau au-dessus du déversoir. A partir du débit de projet obtenu par nos calculs, il sera déterminé la lame d'eau au-dessus du déversoir à partir des dimensions pris sur le terrain. Pour plus de sécurité vis-à-vis de l'incertitude des changements climatiques, le laminage ne sera pas pris en compte. Connaissant la longueur actuelle du déversoir qui est de 30 m, la formule du seuil en régime noyé est utilisée pour déterminer la lame d'eau au-dessus du déversoir.

Les paramètres introduits et le résultat sont consignés dans le tableau IX :

Tableau VIII: lame d'eau au-dessus du déversoir

Débit projet Q (m ³ /s)	Coefficient de débit	Accélérateur de pesanteur g (m/s ²)	Longueur (m)	Charge h (m)
78,98	0,4	9,81	30	1,07

La lame d'eau au-dessus du déversoir est donc de **1,07 m** pour pouvoir évacuer le débit projet qui est de 78,98 m³/s. Cette lame d'eau est trop pour être évacuer sur une longueur de 30 m. La vitesse d'écoulement à l'aval serait donc très forte entraînant une érosion.

IV.3.1.3 VERIFICATION DE LA REVANCHE LIBRE DU SEUIL

La revanche est la différence de côte entre le niveau de l'eau de la retenue et la crête du barrage. Cette revanche est dimensionnée à partir de critères sur la hauteur des vagues, par rapport au PEN et non par rapport au PHE.

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

✓ Approche empirique

Dans cette approche, la formule de Molitor est utilisée pour déterminer la hauteur des vagues et la formule de Gaillard pour le calcul de la revanche. Pour une hauteur de vague $h = 0,55$ m, la revanche libre obtenue est $R = 0,76$ m.

✓ Approche simplifié

Les chercheurs du comité des Grands Barrages proposent des recommandations sur l'estimation de la revanche en fonction du volume de la retenue et la hauteur de la digue (H) pour les petits barrages (DEGOUTTE, 2002). Les valeurs proposées sont consignées dans le tableau suivant :

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

Source : (Gérard DEGOUTTE)

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

Pour une hauteur de la digue de 4,75 m et un volume de la retenue de 1,7 Mm³, le coefficient $H^2 \sqrt{V} = 29,48$. En procédant par interpolation la revanche minimale est de 0,59m. Il sera donc considéré la valeur de revanche libre : **R = 76 cm**

Avec la digue fixée à la côte 328,5 m, un déversoir à la côte 327,5 m avec une lame d'eau de 1,07 m, la revanche libre est inexistante car R = 0,18m.

Cette revanche libre calculée est insuffisante par rapport à la revanche libre normale que devrait avoir le barrage selon nos calculs.

IV.3.1.4 ETUDE DE LA RETENUE (Apports et Pertes)

✓ Evaluation des apports liquides

On entend par apports liquides, la quantité d'eau susceptible d'arriver à l'exutoire du barrage pendant une période considérée. La connaissance des apports liquide est importante car elle permettra de dimensionner des réservoirs adaptés aux caractéristiques hydrologiques du bassin versant. Le résultat du calcul des apports sont consignés dans le tableau X.

Tableau IX: Apports liquides sur dans la retenue

Apports liquides				
Période de retour	Pluviométrie (mm)	Ke (%)	Superficie (km ²)	Apports liquides (m ³)
Année moyenne	834	14,51	37	4 477 496
Année quinquennal sèche	709	10,16	37	2 665 273
Année décennal sèche	643	7,26	37	1 727 227

Les détails des calculs ([ANNEXE 1](#) : Note de calculs)

✓ **Evaluation des dépôts solides**

Les eaux de ruissellement transportent des matériaux solides d'origine diverses tout au long de leurs chemins. Ces matériaux se déposent dès que la vitesse de l'eau devient inférieure à un seuil donné. Voir détail de calcul en (ANNEXE 1 : Note de calculs)

Tableau X: Apports solides dans la retenue

Formules	D (Dégradation spécifique annuelle)	Désignation	D (m ³ /km ² /an)	Apports solides V=D*S (m ³ /an)
Formule de GOTTSCALK	$D = 260 * S^{0,1}$	D : dégradation spécifique en m ³ /km ² /an S : Superficie BV (km ²)	180,2	6704,3
Formule CIEH-EIER (GRESILLON)	$D = 700(P/500)^{-2,2} S^{-0,1}$	D : dégradation spécifique en m ³ /km ² /an S : Sup.BV (km ²) P : Pmoy.an (mm)	157,97	5845,22

L'apport annuel solide serait de **6300 m³/an** environ.

✓ **Evaluation des pertes par évaporation et infiltration**

- Evaporation

Les données d'évaporation utilisées sont celles de la station synoptique de BOBO DIOULASSO compte tenu de son rapprochement de notre zone d'étude. A partir des valeurs d'évaporation d'un bac, il est possible d'établir une corrélation avec les valeurs d'évaporation d'un lac (COMPAORE, 1996).

- Infiltration

L'infiltration moyenne au Burkina Faso est comprise entre 1 et 5 mm (GUEYE, 2013). Compte tenu du fait que ce n'est pas un nouveau barrage et que l'infiltration diminue avec le temps, nous avons donc décidé de prendre la moyenne qui est de **3 mm/j**.

Tableau XI: Evaporation et infiltration dans la retenue

Mois	jours	Evaporation bac (mm/mois)	Evaporation bac (mm/jour)	Evaporation Lac (mm/jour)	Evaporation Lac (mm/mois)	Infiltration (mm)
Janvier	31	310	10,00	6,66	206,31	93
Février	28	318,81	11,39	7,20	201,49	84
Mars	31	350,91	11,32	7,17	222,29	93
Avril	30	295,63	9,85	6,60	197,90	90
Mai	31	262,47	8,47	6,02	186,64	93
Juin	30	199,23	6,64	5,20	156,05	90
Juillet	31	160,12	5,17	4,47	138,61	93
Aout	31	138,13	4,46	4,09	126,81	93
Septembre	30	143,75	4,79	4,27	128,21	90
Octobre	31	188,28	6,07	4,93	152,81	93
Novembre	30	230,76	7,69	5,68	170,48	90
Décembre	31	280,08	9,03	6,26	194,08	93
Total		2 878,17		68,55	2 081,67	1095

Dans le cadre donc de ce projet l'infiltration moyenne considérée est de **453 mm** et l'évaporation moyenne est de **994,64 mm** pour la période d'exploitation du barrage (Novembre à Mars). La hauteur d'eau perdue en saison sèche sera de **1447,64 mm** soit **1,45 m**.

IV.3.1.5 EVALUATION DES BESOINS EN EAU

✓ Besoin en eau de culture

A l'aval du barrage se trouve un périmètre de 30 ha. Le barrage étant à vocation hydro-agricole, il est donc nécessaire de réévaluer les besoins en eau des cultures pour voir si la capacité de stockage du barrage actuel est suffisante pour couvrir ces besoins. L'arrêt effectif des pluies se situe en fin octobre et à cette date on considère que le barrage est rempli. On suppose que les prélèvements d'eau dans la retenue commencent de façon sensible le 1er novembre, date de début des cultures de contre saison (maraîchage).

D'après les investigations, plusieurs cultures sont pratiquées, mais nous allons considérerons l'oignon pour le calcul des besoins en eau, car elle est la plus contraignante. (KEITA, 2009).

Tableau XII: Besoins en eau de l'oignon

Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Durée	30	31	31	28	31
Eto (mm/j)	5,16	5,31	5,82	6,76	7,21
Kc	0,63	0,95	1,05	0,98	0,85
ETM (mm/j)	3,25	5,04	6,11	6,62	6,13
ETM (mm)	97,52	156,38	189,44	185,49	189,98
P (mm/j)	8	4	0	3	18
Pe (mm)	7,9	4	0	3	17,5
ETM - Pe (mm)	89,62	152,38	189,44	182,49	172,48
besoin de la plante (mm/j)	2,99	4,92	6,11	6,52	5,56
besoin net (m ³ /ha)	896,24	1523,80	1894,41	1824,94	1724,84
besoin net total	26 887	45 714	56 832	54 748	51 745
Total des besoins nets pour une campagne (m ³) = la somme de besoins nets de chaque mois					235 927

✓ **Besoins en eau pastorale**

L'estimation des besoins en eau pour le bétail a été faite à partir de leur nombre et de leur consommation spécifique. L'enquête socioéconomique a dénombré 14 000 têtes de bétail constitué de bovins, ovins/caprins, et d'arsin.

Tableau XIII: Besoins en eau pastorale

Espèce	Nombre	cons (l/tête/jour)	Cons (l/jour)	cons (m ³ /jour)
Gros bétail (Bovin et arsin)	5250	25	131250	131,25
Petit bétail (Ovin et caprin)	8750	3	26250	26,25
Consommation totale				
Consommation totale par jour (m ³ /jour)			157,5	
Consommation totale par mois (m ³ /mois)			4725	
Consommation totale pour les cinq (5) mois considérés en (m ³)			23625	

✓ **Besoins en eau domestique**

Le rapport socioéconomique révèle que le nombre de forage est insuffisant pour l'ensemble de la population. On considéra juste la population aux alentours du barrage c'est-à-dire un secteur sur les 5 secteurs de HOUNDE pour l'estimation. Nous pouvons donc retenir des besoins humains de **30l/j/habitant** car en saison sèche, bêtes et populations se retrouvent autour du barrage.

Tableau XIV: Besoins en eau domestique

Population	Cons. (l/j/hbt)	Cons. (l/j)	Cons. (m ³ /j)	Cons. (m ³ /mois)	Cons. (m ³)
3860	30	110400	110,4	3312	16560

IV.3.2 DISCUSSIONS

IV.3.2.1 La Digue

Pour la digue nous pouvons dire après diagnostic et quelques calculs faits, qu'elle a été bien implantée et bien dimensionnée puisqu'elle respecte la fermeture de la courbe de niveau **328,5m**. Pour le type de la digue choisie, il faut le dire que les études géotechniques ont montré des zones d'emprunts important d'argile.

Pour les pentes, pendant le diagnostic elles semblaient raides, mais après vérification, nous avons vu qu'elles ont été bien choisies. Il faut noter qu'à ce niveau les griffes constatées sur le talus aval avaient émis des inquiétudes par rapport aux pentes ; même si une pente douce aurait sensiblement atténué les griffures d'érosion.

Le revêtement des talus amont en perré sec est justifié par l'abondance des moellons latéritique dans la zone et la minimisation des coûts. Pour la crête, il faudrait améliorer la couche latéritique employée pour protéger l'argile car celle qui est là actuellement est classique. Le talus aval, vue la disponibilité des moellons dans la zone, il faut un revêtement de perré sec à l'aval.

IV.3.2.2 Déversoir

Le déversoir de HOUNDE ne présente pas d'anomalie grave, et a aussi été bien dimensionné. Pendant le diagnostic nous avons eu une longueur du déversoir de **30m** et les calculs nous donné **31m**, cela peut s'expliquer par les incertitudes des calculs au niveau des formules utilisées pour le calcul des débits. Nous notons aussi une revanche très insuffisante d'après nos calculs, donc il serait judicieux d'augmenter cette revanche entre le seuil déversant et la crête de la digue. Pour ce faire nous prévoyons construire un mur parapet de **1m**, c'est-à-dire encré de 0,5 m et une hauteur de 0,5 m, ([ANNEXE 7](#) : Profil en travers de la digue cela permettra l'augmentation de la revanche et pour un tant soit peu pallier au phénomène de changement climatique induisant ces derniers temps des crues importantes

IV.3.2.3 Calage de la prise

Une simulation de l'exploitation de la retenue a été faite pour déterminer si la côte de calage de la prise actuelle est bonne (figure 13).

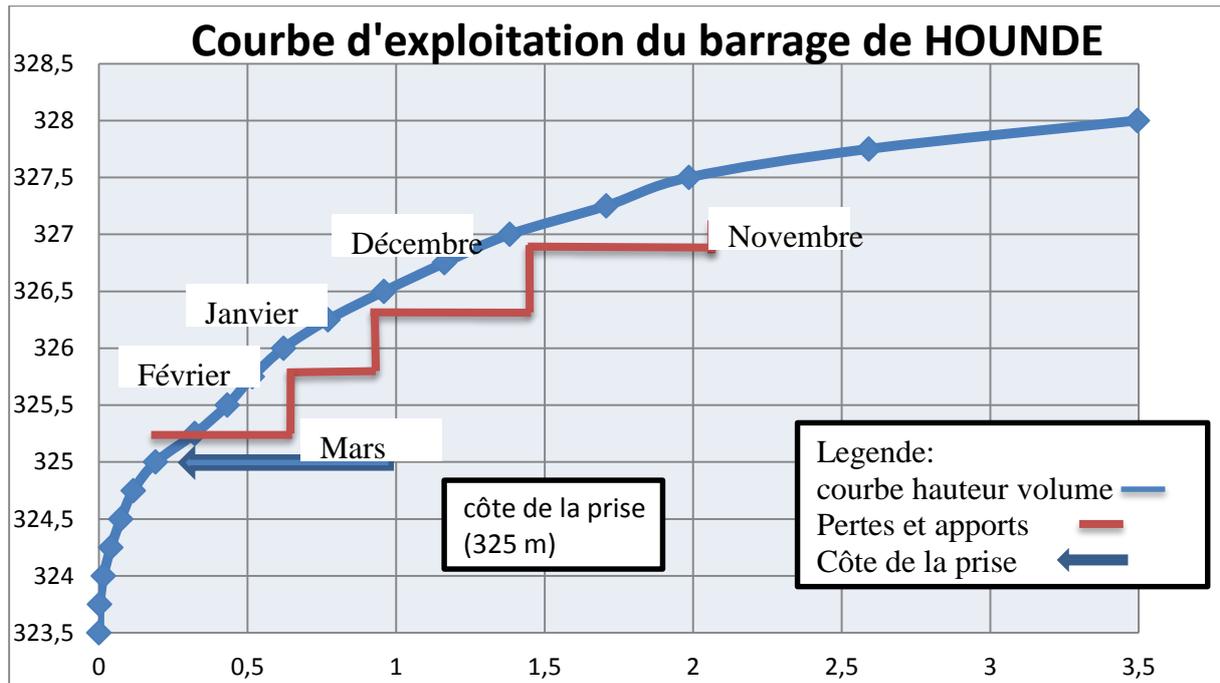


Figure 13: Courbe d'exploitation du barrage de HOUNDE

IV.3.2.4 Mise en place d'un dispositif d'auscultation

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

Pour sa mise en place, nous proposons un ensemble d'échelles limnimétriques constituée de cinq (05) éléments de **1 m** de hauteur chacun placé dans la cuvette du barrage pour un suivi de la variation du plan d'eau. Une échelle limnimétrique est déjà installée sur le mur bajoyer pour un suivi des déversements du barrage.

V. PROPOSITION DE REHABILITATION

Les travaux de réhabilitation visent à remettre en état les ouvrages dégradés et la confortation des ouvrages existants (DURAND J.-M. , 1995).

A l'état actuel, le barrage participe à la création de valeur ajoutée, et contribue au développement économique et social. On n'a pas trop le droit de voir disparaître un barrage par rapport à des populations qui en ont besoin pour mieux vivre au village et disposer de revenus décents.

V.1 PROPOSITION DE REHABILITATION DE LA DIGUE DU BARRAGE

V.1.1. Désherbage et dessouchage des arbres et des arbustes sur les talus

Les arbres et les arbustes sont à proscrire absolument sur les talus des barrages. La lutte contre l'envahissement des arbres doit être permanente. Il faut en outre intervenir le plus tôt possible lorsque l'arbre est encore petit. En effet, plus l'arbre est gros, plus ses racines s'enfoncent profondément dans le barrage et plus il est difficile d'intervenir. Dans le cas de très gros arbres, l'arrachage des souches causerait plus de dégât que les risques encourus en laissant l'arbre en place. En plus, les formations arbustives denses gênent la surveillance visuelle du talus et constituent un habitat très propice aux animaux fouisseurs ! Enfin, les grands arbres sont sensibles aux prises de vents favorisant ainsi des risques d'arrachement de volumes significatifs de remblai en cas de déracinement. Ce risque est encore plus accru si la digue est constituée d'un matériau cohésif (comme c'est le cas ici avec le remblai argileux), le vieillissement de l'arbre (pourrissement progressif de sa base racinaire) et l'humidité du talus.

Pour le cas du barrage de HOUNDE, les arbres qui se sont développés sur les talus sont peu importants aussi bien en nombre qu'en taille. Toutefois, il convient de les neutraliser afin d'éviter qu'il se développe davantage. La solution préconisée consiste à couper l'arbre jusqu'à 10 à 15cm de sa base à la machette ou à la tronçonneuse. Il n'est pas recommandé de traiter la coupe en rependant sur elle une solution phytosanitaire afin d'éviter que les racines ne pourrissent et ne favorise donc des canaux d'écoulement d'eau dans la digue. Il est recommandé par contre qu'après un troisième recépage que la racine puisse être exclue entièrement de la digue et de reconstituer correctement le talus endommagé.

Les arbres dont le système racinaire n'est pas profondément ancré dans la digue et dessouchés totalement.

V.1.2. Traitement des griffes d'érosion sur le talus aval

Les griffes d'érosion sont dues aux ruissèlements des eaux de pluies, car le talus aval n'est pas protégé. Le comblement des griffes consistera à deux choses :

- ✓ Le remblaiement des griffes proprement dit ;
- ✓ L'élimination de la cause qui a provoqué son apparition (pose de perré).

➤ **Le remblaiement des griffes d'érosion**

La démarche consistera à :

- ✓ Tailler la digue en redan de 0,5 m de hauteur environ ;
- ✓ Reconstituer le talus de la digue avec l'argile compactée ;
- ✓ Remettre la couche de protection avec tout-venant latéritique compacté par couches horizontales de 10cm
- ✓ Protéger le talus avec un revêtement de perré sec aux niveaux des endroits fortement dégradés

➤ **Traitement de la cause**

On remarque sur le talus aval que la plupart des grosses griffes d'érosion sont au droit de sous cavage du mur de crête. Cela est dû non seulement à un faible encrage de ce mur ; une qualité d'exécution médiocre, un léger affaissement et aussi une pente d'écoulement des eaux de ruissellement de la crête de digue orientée vers l'aval. Les corrections consisteront à :

- ✓ Réparer le mur de crête aval au droit des griffes ou des départs de ravinement en l'ancrant conséquemment (au moins 40 cm de profondeur d'ancrage) ;
- ✓ Comblent l'affaissement constaté avec du matériau latéritique compacté à la dame sauteuse pour rétablir la pente d'écoulement des eaux vers l'amant.

➤ **Le Travaux de réhabilitation sur la digue**

Les travaux de réhabilitation sur la digue seront entre autre

- ✓ Le désherbage et dessouche des arbustes sur les talus amont et aval,
- ✓ Le taillage en redans des talus amont et aval suivi d'un apport de nouveaux matériaux, argileux bien compactés avec une correction des pentes des talus (2H/1V),
- ✓ Le décapage de la digue de 10 cm pour recouvrir avec une couche d'argile bien compacté, tout le long de la digue

- ✓ Une couche de couronnement de 20 cm en matériaux latéritiques sera placée sur la crête de la digue
- ✓ La protection des talus amont et aval par de nouvelles couches de pose en matériaux latéritiques de 10 cm d'épaisseur, suivi d'un renforcement en enrochement de 40 cm
- ✓ La reprise de butée de pied et du drain aval à la base des talus amont et aval
- ✓ La construction d'un mur parapet de 50×50 cm sur la crête amont et aval de la digue.

V.2 PROPOSITION DE LA REHABILITATION DU DEVERSOIR

L'évacuateur de crue du barrage de HOUNDE est en bon état et ne présente aucune pathologie majeure. Le diagnostic avait émis des inquiétudes sur la qualité du béton du seuil suite à l'observation sur son parement aval de fissures en faïence avec présence d'une laitance de couleur blanche. Il est revenu après le test du béton réalisé par l'équipe géotechnique que la qualité du béton est bonne. Ces fissures sont certainement donc des fissures de retrait apparues après l'exécution de l'enduit du parement aval. Les traces blanches sont les traces de l'adjuvant utilisés dans l'exécution de l'enduit. Il convient donc comme traitement de refaire cet enduit dans les règles de l'art.

Aussi, Certains joints **waterstop** sont détériorés occasionnant le passage d'eau dans des orifices entre les plots de béton du seuil déversant. Ces joints défectueux sont à traiter.

Nous recommandons enfin de corriger le perré maçonné des talus légèrement détérioré au droit des jonctions entre les bajoyers de l'évacuateur et le remblai de la digue.

Le bassin de dissipation ne présente pas d'anomalie. Tous les blocs de chutes et chicanes sont intacts. Le seuil terminal aussi l'est. Toutefois, nous recommandons la pose d'un gabion de protection pour bloquer les enrochements disposés au bas du seuil terminal. En effet, Les enrochements en blocs de moellons latéritiques qui s'y trouvaient sont totalement éparpillés. La longueur de l'actuel déversoir est aussi insuffisante. Donc nous proposons une réhabilitation d'après nos calculs :

✓ **Longueur minimale L et la charge h du déversoir**

Tableau XV: Longueur et charge du déversoir

L(m)	S(m ²)	m	tm(s)	Qcmax(m ³ /s)	g(m/s ²)	X0	log10 X0	B	Qemax
62,30	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	16,8401334	1,23	70,0%	55,29
43,61	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	8,25166535	0,92	65,0%	51,34
40,49	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	7,11495635	0,85	62,0%	48,97
38,62	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	6,47334727	0,81	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49

Nous retiendrons une lame d'eau de **0,8 m** au-dessus du déversoir avec une longueur de **32 m**.

✓ **Choix du type de déversoir**

Le choix du déversoir est fonction de :

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

Le déversoir du barrage de HOUNDE est un déversoir poids de type **Creager**, avec un seuil adapté.

Il se composera de trois (03) parties :

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

✓ **Stabilité du déversoir**

Nous devons avoir un déversoir qui résiste à la poussée de l'eau, être stable vis-à-vis- du renversement, du glissement sur la fondation, ainsi que du poinçonnement. Les actions mises en jeu sur une tranche latérale de 1 m du déversoir fait intervenir, le poids propre du déversoir, la poussée hydrostatique amont, les sous-pressions, éventuellement la poussée des sédiments

cumulés à l'amont et la poussée hydrostatique aval. Les détails des calculs reportés en (annexe)...

Tableau XVI: Stabilité du déversoir

Stabilité au glissement	$F_G = \frac{\sum(W - u) \tan\phi}{\sum(P)} \geq 1$	$F_G = 1,26$
Stabilité au renversement	$F_R = \left \frac{Ms}{Mr} \right > 1,5$	$F_R = 1,91$
	$\frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6} \text{ avec } b/6 = 0,77 \text{ m}$	$e = 0,37 \text{ m}$
Stabilité au poinçonnement	$\sigma_A = \frac{\sum F_v}{b \times 1m} + \frac{6 \times \sum \text{Moments forces/G}}{b^2 \times 1m} < \sigma_{sol}$ $\sigma_B = \frac{\sum F_v}{b \times 1m} - \frac{6 \times \sum \text{Moments forces/G}}{b^2 \times 1m} < \sigma_{sol}$ <p>avec $\sigma_{sol} = 150 \text{ kPa}$</p>	$\sigma_A = 35,1 \text{ kPa}$ $\sigma_B = 101,35 \text{ kPa}$

NB : Nous pouvons dire que la stabilité de notre ouvrage est assurée.

✓ **Dimensionnement du bassin de dissipation :**

L'eau arrive avec une énergie cinétique importante qu'il faudrait dissiper le plus possible à l'intérieur du liquide lui-même plutôt que le fond ou les rives de talweg ce qui entrainerait à la longue un déchaussement et une dégradation de l'ouvrage évacuateur. Dans ce but, on fait suivre les ouvrages évacuateurs d'un ouvrage dit de dissipation ou de tranquillisation.

Tableau XVII: Paramètres du bassin de dissipation

Lame d'eau sur le déversoir h (m)	0,8
Hauteur maximale d'eau sur le déversoir H (m)	4,67
Enfoncement du bassin D (m)	0,92
Débit de la crue laminée Q (m ³ /s)	75,33
Débit unitaire q (m ³ /s/ml)	2,55
Vitesse au-dessus du seuil V0 (m/s)	3,2
Ligne d'eau H0 (m)	3,75
Hauteur de chute Z (m)	6
Tirant d'eau avant ressaut Y1 (m)	0,15
Vitesse à l'entrée du bassin V1 (m/s)	10,2
Nombre de Froude Fr	6,51
Bassin retenue	bassin type II en cyclopéen
Tirant d'eau conjuguée Y2 (m)	2,3
Longueur du bassin de dissipation	5
Hauteur du seuil termina h4 (m)	0,15
Hauteur des blocs chicanes h2 (m)	0,25
Distance entre chicanes e2 (m)	0,2
Hauteur des blocs chutes h1 (m)	0,13

Les détails des calculs sont en ([ANNEXE 1](#) : Note de calculs)

Pour le choix, nous allons nous baser sur les conditions suivantes pour $Fr > 4,5$ et $V1 < 15$ m/s, donc on adoptera un bassin de type II USBR et on retiendra une longueur de **5 m** et une pente **2H/1V**. Le bassin de dissipation sera construit en béton ordinaire d'une épaisseur de 0,25 m reposant sur une couche de sable filtrante de 0,1 m d'épaisseur, par des plots de 5 m de long et 50 m large séparés par des joints bitumineux. Il est traversé par une série de barbicanes en PVC de 50mm, pour l'évacuation des sous pressions et se termine par une bêche aval également en béton ordinaire, de 0,4 m d'épaisseur, et de 1m de profondeur.

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

Tableau XVIII: Paramètres des blocs chicanes

Les blocs chicanes							
Fr	y1	h2/y1	Pente	La hauteur h2 (m)	Largeur (m)	Espacement (m)	épaisseur de crête (m)
8,62	0,15	2	V/H=1/1	0,30	0,20	0,20	0,05

V.3 PROPOSITION DE REHABILITATION DE LA PRISE

Pendant le diagnostic, nous avons remarqué que la prise n'était pas fonctionnelle, pour cela nous proposons en attendant un diagnostic plus poussée (à retenue vide) de construire une nouvelle prise pas très loin du déversoir vers le lit mineur. Elle pourra avoir les caractéristiques suivantes :

- Longueur : environ 60m
- Cote de fond amont Zamont =325m et côte de fond aval Zaval = 324,7m
- Pentes des talus : 1/1

VI. ESTIMATION DU COUT DE LA REHABILITATION

Une évaluation des quantités a permis d'avoir les coûts des travaux à réaliser. Le devis estimatif a été proposé sur la base des prix unitaires des travaux similaires réalisés dans la zone du projet. Le coût des travaux est estimé selon les variantes dans le tableau XIX

Tableau XIX: Tableau récapitulatif du coût

Désignation	Prix (F cfa)
Installation et Service	25 000 000
Digue	93 225 000
Ouvrage de prise et de vidange	6 355 000
Déversoir et chenal d'évacuation	1 950 000
Diguette de protection	2 775 000
Total Brute	129 305 000
Imprévus	25 861 000
TVA (%)	23 274 900
Total	178 440 900

Le coût de la réhabilitation du barrage de HOUNDE est de **178 440 900 FCFA TTC**. Le tableau faisant ressortir les calculs du devis estimatif et quantitatif se trouve ([ANNEXE 4](#) : Devis de la réhabilitation)

VII. ETUDE IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

La situation de référence et études agro-socio-économique du site de HOUNDE mené par CETRI atteste que les villageois ainsi que les différentes parties prenantes adhèrent pleinement au projet de réhabilitation du barrage. Les principaux impacts attendus du projet sur le secteur socio-économique dont les composantes abordées sont l'agriculture, l'élevage, la pêche, la pisciculture, la foresterie, le commerce. Nous essayerons de faire ressortir au stade actuel, les impacts attendus. Ces impacts sont à titre indicatifs ; ils seront analysés et quantifiés dans le cadre de l'élaboration du rapport d'APD afin de proposer les coûts des mesures d'accompagnement de la population. Certaines parties essentielles ont été reportées en ([ANNEXE 3](#) : Etude d'impact environnemental).

VIII. CONCLUSION

La présente étude porte sur la réhabilitation du barrage de HOUNDE, entrant dans le cadre global de la lutte pour la sécurité alimentaire et l'amélioration des conditions de vie des populations en milieu rural initié par le gouvernement Burkinabé. Il va permettre à terme, l'essor socio-économique pour l'ensemble de la commune de HOUNDE.

Au vu de l'étude, l'ouvrage permettra de stocker **1 707 041,88 de m³**. Cette capacité pourra satisfaire les besoins humains, animaux, et l'irrigation. L'option de réhabilitation est salubre dans la mesure où les actions ponctuelles ne permettent de résoudre des problèmes mineurs. Malgré le coût, cette action demeure l'une des principales actions pour assurer la pérennité de l'eau au niveau de l'ouvrage.

Pour sa survie, il appartiendra aux bénéficiaires de s'impliquer dans sa gestion. Les parties prenantes devraient élaborer un schéma d'organisation pour le suivi, le contrôle et l'entretien de l'ouvrage afin d'assurer sa pérennité.

Le coût des réhabilitations du barrage s'élève à **178 440 900 FCFA TTC**. Les travaux envisagés permettront d'assurer la pérennisation du barrage dans le contexte de changement climatique et de mieux répondre à sa vocation agricole.

Nous pouvons dire à la fin de cette étude que nous avons abordé des thématiques aussi diverses qu'intéressantes ce qui a confirmé notre engouement dans ce domaine. Cette étude demandait en effet des connaissances en hydrologie, hydraulique, génie civil représentant l'essentiel de disciplines enseignées en classe. L'étude d'avant-projet a été l'occasion pour nous de mettre à profit nos connaissances acquises en classe.

IX. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Nous voulons en plus des différentes solutions de réhabilitation proposées, nous recommandons d'autres études qui s'avèrent nécessaire pour le développement de la localité. En plus de l'entretien courant, la sensibilisation pour l'entretien du bassin versant et principalement des rives contre la déforestation, l'agriculture, l'orpaillage...etc. s'avère fondamentale. Enfin, des compagnes de reboisement périodique et d'entretien d'arbres dans la bande de servitude lutteront efficacement contre l'ensablement qui demeure l'une des plus grandes menaces pour la retenue d'eau. Il faut aussi entre autre :

- ✓ Réhabiliter la piste d'accès au barrage ;
- ✓ Réhabiliter le périmètre irrigué ;
- ✓ Renforcer la capacité des habitants en matière de gestion de la retenue dont ils bénéficient par des séances de sensibilisation ;
- ✓ Élaborer des mesures d'accompagnement de la population ;
- ✓ Délimiter des couloirs à bétail et des zones de pâture autour du barrage, au regard de l'usage pastoral. Cela contribuera à réduire les conflits d'usage pour le développement intégré de l'élevage et de l'agriculture

BIBLIOGRAPHIE

- CNBB, A. (2015). *Etude de la classification des barrages au Burkina Faso*. Ouagadougou.
- COMPAORE, M. (1996). *Cours de barrages 2e édition, Bachelor 3*. Ouagadougou: EIER-ESTHER.
- DEGOUTTE, G. (2002). *Petits barrages: recommandation pour la conception, la réalisation et le suivi*.
- DURAND, J.-M. (1995). *Petits barrages et digues deversantes pour l'aménagement rural*.
- DURAND, J.-M. (1999). *Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique*.
- FAO.54. (1996). *Crues et apports: manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versant non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*.
- GRESILLON, J. -M.-P. (n.d.). *Notes sur le dimensionnement des ouvrages évacuateurs de crue an Afrique de l'ouest sahélienne ou tropicale*.
- GUEYE, I. (2013). *Dimensionnement des barrages, Master 2*. Ouagadougou: 2iE.
- GWP/AO. (2009). *Global Water Partnership*.
- KARAMBIRI, H & NIANG , D. (2011-2012). *L3, Hydrologie 2*. Ouagadougou: 2iE.
- KEITA, A. (2009). *Irrigation par Aspersions, Bachelor 3*. Ouagadougou: 2iE.
- PCD-AEPA HOUNDE, C. d. (2010-2014). *PCD définitif HOUNDE 2*.

ANNEXES

□	ANNEXE 1 : Note de calculs	II
	Etude base.....	II
	Vérification des ouvrages	XV
□	ANNEXE 2 : Données pluviométriques	XXVI
	Données pluviométriques mensuelles de HOUNDE de 1980-2016.....	XXVI
	Données pluviométriques maximales journalières de HOUNDE de 1980-2016	XXVIII
□	ANNEXE 3 : Etude d'impact environnemental.....	XXIX
□	ANNEXE 4 : Devis de la réhabilitation.....	XXXIV
□	ANNEXE 5 : Simulation de la retenue	XXXVI
□	ANNEXE 6 : Coupe longitudinale du déversoir.....	XXXVII
□	ANNEXE 7 : Profil en travers de la digue.....	XXXVIII

• **ANNEXE 1 : Note de calculs**

Etude base

➤ **Caractéristique du bassin versant**

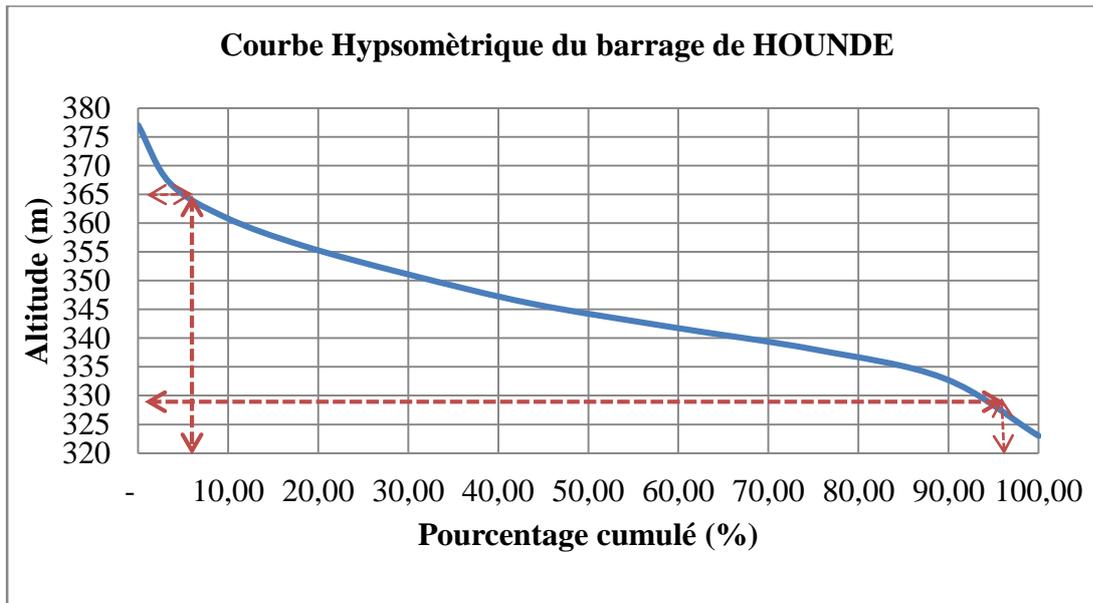
Surface du bassin versant **37km²**

Périmètre du bassin versant **29 km**

• **Courbe hypsométrique**

C'est la répartition de la superficie du bassin en fonction de l'altitude. Elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Les altitudes spécifiques sont obtenues sur ArcGis 10.3

Hypsométrie				
Altitude (m)	Altitude (m)	Area (m2)	% partiel	Pourcentage cumulé
323-333	323	3859191	10,50	100,00
333-338	333	5262153	14,32	89,50
338-342	338	5995313	16,31	75,18
342-346	342	5582522	15,19	58,87
346-351	346	4962443	13,50	43,68
351-356	351	4324901	11,77	30,17
356-361	356	3208187	8,73	18,41
361-367	361	2275323	6,19	9,68
367-377	367	1280969	3,49	3,49
	377			-
Total		36 751 002		



- Pente longitudinale I

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

$$I(\%) = \frac{0.026}{\sqrt{S}} = \frac{0.026}{\sqrt{37}} * 1000 = 4,27 \text{ ‰}$$

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

R1	Correspond à des bassins de pentes extrêmement faibles inférieures à 2 m/km (.2 ‰).
R2	Correspond à des bassins de pentes faibles comprises entre 2 m/km et 5 m/km (2 ‰ et 5 ‰). Ce sont des bassins de plaine.
R3	Correspond à des bassins de pentes modérées comprises entre 5 et 10 m/km (5 ‰ et 1 ‰). Ce sont des terrains intermédiaires entre la plaine et les zones à ondulation de
R4	Correspond à des bassins de pentes assez fortes : pentes longitudinales comprises entre 1% et 2 %, pentes transversales supérieures à 2 %. Ce sont des zones d'ondulation de
R5	Correspond à des bassins de pentes fortes : pentes longitudinales comprises entre 2 et 5 %, pentes transversales entre 8 et 20 %. Ce sont des régions de collines.
R6	Correspond à des bassins de pentes très fortes : pentes longitudinales supérieures à 5 %, pentes transversales supérieures à 20 %. Ce sont des régions de montagnes

Dans le cas du barrage de HOUNDE, la pente est égale à 4,27 ‰, est compris entre 2‰ et 5‰ ce qui permet de classer le bassin versant en classe **R2**.

- La perméabilité du sol

On utilisera la carte géologique du Burkina Faso pour identifier les différents types de sols du

bassin versant. L'exploitation de cette carte montre que le sol du bassin-versant du barrage de HOUNDE est composé en majorité de sols hydromorphes. Les mêmes expériences de l'ORSTOM, ont également permis de définir les indices de perméabilité des bassins versants
Comme suit :

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

(Source : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, p. 12)

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

Classification du bassin-versant

A l'issue des études citées plus haut, RODIER et AUVRAY ont classé les bassins versants en fonction des pentes (classes de relief) et de la perméabilité (géologie et nature du Sol). Le bassin-versant du barrage de HOUNDE est donc du type R2P3.

- Indice de compacité de Gravelus (Icomp)

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

Icomp = indice de compacité de GRAVELUS

$$I_{comp} = 0.282 * \frac{P}{S^{0.5}}$$

$$I_{comp} = 0,282 * \frac{29}{37^{0.5}}$$

Pour un bassin-versant de forme allongée, Icomp > 1

Pour un bassin-versant de forme arrondie, Icomp ≤ 1

On a Icomp = 1,35 donc > 1 : le bassin-versant du barrage HOUNDE a donc une forme allongée.

- Longueur du rectangle équivalent

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

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

$L_{eq} = 11,23 \text{ Km}$

- Densité de drainage

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

$$Dd = \frac{\Sigma Li}{S}$$

$$Dd = \frac{19}{37}$$

Avec ΣLi : la longueur totale du réseau hydrographique

$Dd = 0,52$

- Indice global de pente I_g

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

$$I_g \left(\frac{m}{km} \right) = \frac{\Delta H(m)}{L_{eq}(km)}$$

$$I_g \left(\frac{m}{km} \right) = \frac{365 - 328(m)}{11,23(km)}$$

$$I_g \left(\frac{m}{km} \right) = 3,3$$

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

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

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

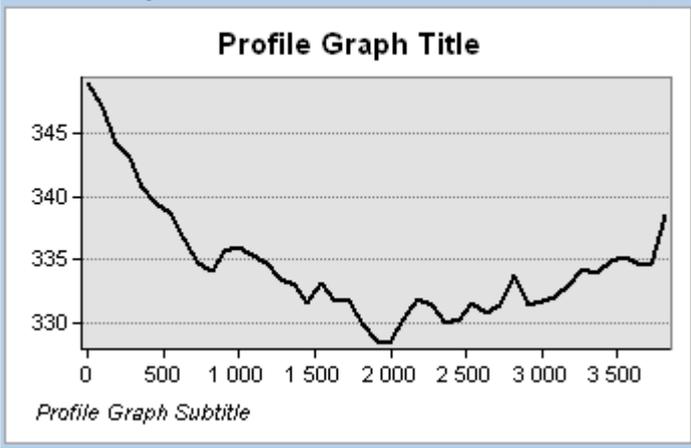
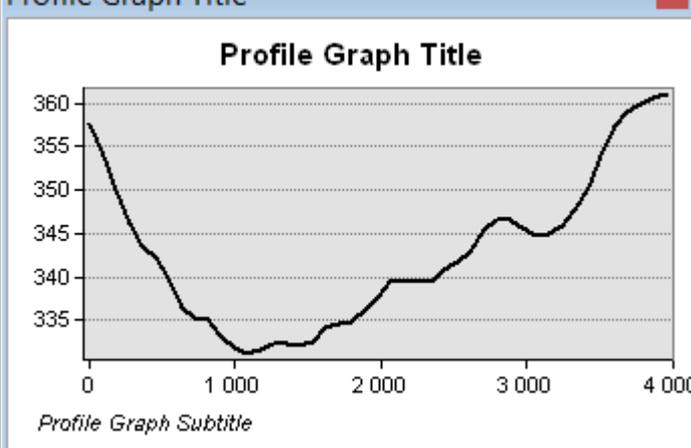
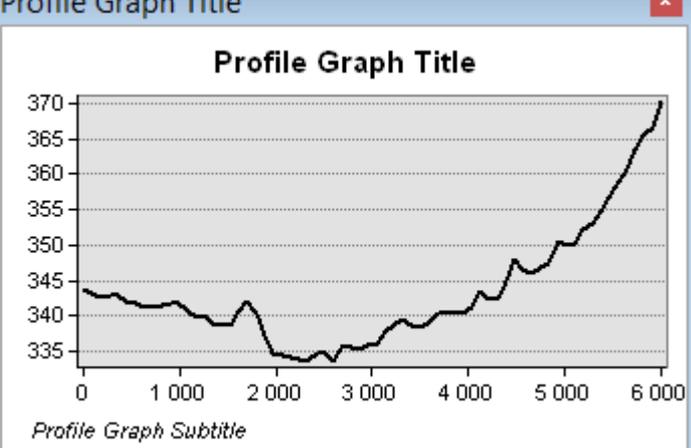
$N=2$ pour $L < 5 \text{ km}$, $N=4$ pour $25 < L < 50 \text{ km}$

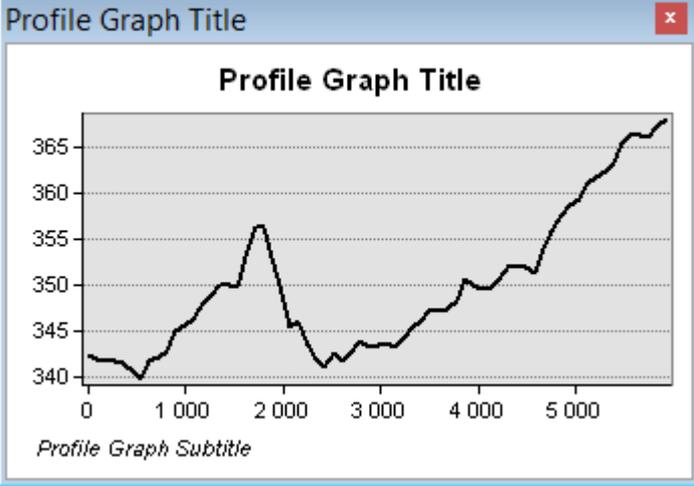
$N=3$ pour $5 < L < 25 \text{ km}$, $N=6$ pour $L > 50 \text{ km}$

$L = 11,23 \text{ km}$ donc $n = 3$

Les résultats des pentes transversales sont dans le tableau.

Pentes transversales	Rive droite	Rive droite
----------------------	-------------	-------------

 <p>Profile Graph Title</p> <p>Profile Graph Subtitle</p>	$it = \frac{349 - 328}{2}$ <p>=10.5</p>	$it = \frac{335 - 328}{1.5}$ <p>=4.67</p>
 <p>Profile Graph Title</p> <p>Profile Graph Subtitle</p>	$it = \frac{358 - 335}{1.8}$ <p>=12.78</p>	$it = \frac{355 - 335}{1.7}$ <p>=11.76</p>
 <p>Profile Graph Title</p> <p>Profile Graph Subtitle</p>	$it = \frac{349 - 335}{2}$ <p>=7</p>	$it = \frac{350 - 335}{3}$ <p>=5</p>

	$it = \frac{345 - 342}{2}$ $= 1.5$	$it = \frac{360 - 345}{3}$ $= 5$
moyenne	7.94	6.61
moyenne	7.28	

$$I_{gcorr} = \frac{(4 - 1) \times 3,3 + 7,28}{3}$$

I_{gcorr} = 4,62 m/km

- Détermination de Kr10
- Méthode de ORSTOM

Pour une précipitation décennale ponctuelle P10 différente de 70 et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissèlement Kr10 est faite par interpolation linéaire entre les valeurs de kr70 et kr100. Ces valeurs sont déterminées graphiquement à l'aide des courbes empiriques ou à partir des équations analytiques des formes générales présentées ci-dessous.

$$Kr_{70} \text{ ou } Kr_{100} = \frac{a}{(S + c)} + c$$

En régime tropical sec ; pour un bassin versant dont la superficie est supérieure à 10 km², pour une classe d'infiltrabilité P3 (RI) et pour un indice global de pente comprise entre 3 et 7, les variables a, b et c de kr₇₀ et kr₁₀₀ nécessaire à la détermination des coefficients de ruissèlement sont présentées dans le tableau suivant :

Coefficient de ruissèlement	I _g (m/km)	a	b	c
kr ₇₀	3	150	20	15
	7	200	20	18,5
kr ₁₀₀	3	200	30	17
	7	240	30	22

Tableau 3 : Détermination du Kr70

Interpolation de Kr70			
Pour Ig = 7			
Kr70	a	b	c
22,02	200	20	18,5
Pour Ig = 4,62			
Kr70			
19,42			
Pour Ig = 3			
Kr70	a	b	c
17,64	150	20	15

Tableau 4 : Détermination du Kr100

Interpolation de Kr100			
Pour Ig = 7			
Kr100	a	b	c
25,60	240	30	22
Pour Ig = 4,62			
Kr100			
22,26			
Pour Ig = 3			
Kr100	a	b	c
20	200	30	17

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

$$Kr_{10} = 19,09 + \frac{21,86 - 19,09}{(100 - 70)} * (81,6 - 70)$$

$$Kr_{10} = 20,52\%$$

- Méthode ORSTOM

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

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

$Tb_{10} = a \times S^{0,35} + b$ en fonction du type de climat et de la superficie du bassin versant supérieur à 7 km. Pour $Ig_{corr} = 4,62$ m/km, il faut procéder par interpolation pour obtenir les différents

paramètres nécessaires au calcul du coefficient de ruissellement et du temps de base. En zone tropical sèche paramètres utilisés sont les consignés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 5 : Détermination du temps de base

Interpolation de Tb		
Pour Ig = 7		
Tb	a	b
739	163	142
Pour Ig = 4,62		
Tb		
1194,34		
Pour Ig = 3		
Tb	a	b
1505	325	315

Le temps de base **Tb₁₀ = 1194,34 mn** soit 19,9 h.

En zone tropical sèche le temps de monté est Tm₁₀ = 0,33. Tb₁₀ (cf. tableau 6).

Tableau 6 : Temps de monté

Tm ₁₀	394,13	mn
	6,57	h

- **Volume ruisselé de la crue décennale Vr₁₀**

Le volume de ruissellement de la crue décennale est calculé avec la formule suivante :

$$Vr_{10} = A * P_{10} * K_{r10} * S * 1000$$

Avec :

Q_{r10} : débit de pointe décennal en m³/s

P₁₀ : précipitation décennale ponctuelle journalière, en mm

S : superficie du bassin versant en km²

K_{r10} : coefficient de ruissellement pour une précipitation décennale

A : coefficient d'abattement

$$Vr_{10} = 0,8 * 81,6 * 0,21 * 37 * 1000$$

$$Vr_{10} = 494\ 015,35\ m^3$$

- **Débit moyen**

$$Q_{moy} = 16.7 * P_{m10} * K_{r10} * \frac{S}{T_{b10}}$$

Avec :

Q_{r10} : débit de pointe décennal en m³/s

P_{m10} : pluviométrie moyenne, en mm

S : superficie du bassin versant en km²

T_{b10} : temps de base en min

K_{r10} : coefficient de ruissellement pour une précipitation décennale

$$Q_{moy} = 16,7 * 65,51 * 0,21 * \frac{37}{1194,34}$$

$$Q_{moy} = 6,91 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Débit maximum de crue ruisselé Q_{r10}**

$$Q_{r10} = Q_{moy} * 2,6 = 6,91 * 2,6 = 17,96 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Débit de pointe décennale**

En zone tropicale sèche et pour les grands bassins versants relativement imperméable avec une hydrographie bien marquée, la formule est la suivante :

$$Q_{10} = (1.10 \text{ à } 1.15) * Q_{r10}$$

$$Q_{10} = 1,1 * Q_{r10} \text{ dont } Q_{10} = 19,76 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Méthode CIEH**

En 1983, Puech et Chabi-Gonni ont proposé une méthode statistique, connue depuis sous le nom de méthode **CIEH** et basée sur 162 bassins versants dont l'origine vient essentiellement du recueil de Oubreuil (1972) sur les bassins expérimentaux.

La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe Q_{10} est basée sur

Un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$$Q_{10} = a.S^S.P_{an}^P.I_g^i.K_{r10}^k.D_d^d \text{ où,}$$

Q_{10} : débit de crue décennal en m³/s

S : superficie du bassin versant en km²

I_g : Indice globale de pente en m/km

P_{an} : Pluie annuelle moyenne en mm

D_d : densité de drainage en km⁻¹

A : coefficient d'abattement

a, s, p, i, k, d, \dots sont des coefficients à déterminer en fonction de la pluviométrie, des coordonnées géographiques (longitude et latitude) et du découpage par pays ou groupes de pays.

Pour choisir les équations, on sélectionne en priorité celles du Burkina Faso (FAO 54).

Paramètres du modèle							
Coefficient selon la pluie annuelle							
Formule 39							
Corrélation	a	S	Ig	Pan	Pm10	Kr10	Dd
0,818	0,41	0,425	0			0,923	
Formule 40							
Corrélation	a	S	Ig	Pan	Pm10	Kr10	Dd
0,824	0,254	0,462	0,101			0,976	
Résultats obtenus							
	Débit	Valeur	Unité				
	Q1	30,84	m3/s				
	Q2	29,91	m3/s				

$$Q_{10} = 30,37 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Méthode GRADEX

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

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

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

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

Avec

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

Q_{10} : crue décennale (m^3/s)

P_{10} : pluie journalière maximale décennale (mm) ;

P_{100} : pluie journalière maximale de la période de retour de 100 ans

T_b : temps de base de la crue décennale (mn) ;

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal

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

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

Tableau 9 : Débit centennal

Le débit projet							
Méthode	CIEH			ORSTOM	GRADEX		
Débit en m3/s	Q1	Q2	Q	Q	Q10	C	Q100
	30,84	29,94	30,37	19,76	30,37	2,6	78,98

- Estimation des apports par Rodier

Les volumes des apports liquides annuels du bassin-versant au droit du barrage sont estimés de la manière suivante :

$$V = Ke \times S \times P \quad \text{Avec}$$

P : Pluviométrie annuelle (mm) ;

S : superficie du bassin versant (Km2)

Ke: Coefficient d'écoulement.

- **Le Déficit d'écoulement (formule de COUTAGNE)**

$$D = P - \lambda P^2 \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

P : pluie moyenne annuelle (m) = 0,834 m $\in \left[\frac{1}{8\gamma} ; \frac{1}{2\gamma} \right] = [0.6; 2.38]$

T : température moyenne annuelle = 35,36 °C

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 * 35.36} = 0.174$$

$$D = 0.834 - 0.174 * 0.834^2 = 0.713m$$

$$D = 712,97 \text{ mm}$$

- **Coefficient d'écoulement Ke** $Ke = \frac{P-D}{P} = 14,51\%$

D'après l'ONBAH on a :

$$Ke_5 = 0,70 Ke \quad \text{soit} \quad Ke_5 = 10,16\%$$

$$Ke_{10} = 0,5Ke \quad \text{soit} \quad Ke_{10} = 7,26\%$$

Apports liquides				
Période de retour	Pluviométrie (mm)	Ke (%)	Superficie (km2)	Apports liquides (m3)

Année moyenne	834	14,51	37	4 477 496
Année quinquennal sèche	709	10,16	37	2 665 273
Année décennal sèche	643	7,26	37	1 727 227

- Estimation des apports solides :

Plusieurs méthodes existent pour estimer le volume des apports solides parmi lesquelles celle de GOTTSCHALK et celle de CIEH-EIER encore appelé GRESILLON. L'application de ces méthodes donne des résultats dans le tableau ci-dessous :

Formules	D (Dégradation spécifique annuelle)	Désignation	D (m ³ /km ² /an)	Apports solides V=D*S (m ³ /an)
Formule de GOTTSCHALK	$D= 260*S^{0,1}$	S=Superficie BV (km ²)	180,2	6704,3
Formule CIEH-EIER (GRESILLON)	$D=700(P/500)^{-2.2}S^{-0.1}$	D= dégradation spécifique en m ³ /km ² /an S= Sup.BV (km ²) P= Pmoy.an (mm)	157,97	5845,22

L'apport annuel solide serait de 6300 m³ environ.

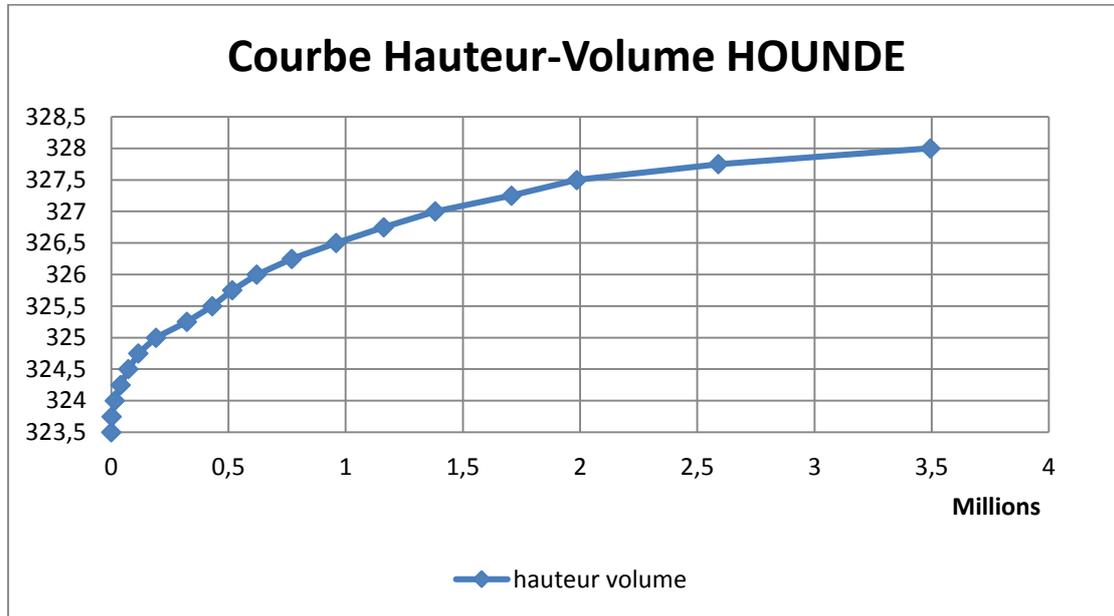
- Courbe Hauteur Volume

Avec le logiciel ArcGis, nous avons pu avoir les tranches de 0,25 m pour le traçage de notre courbe hauteur volume :

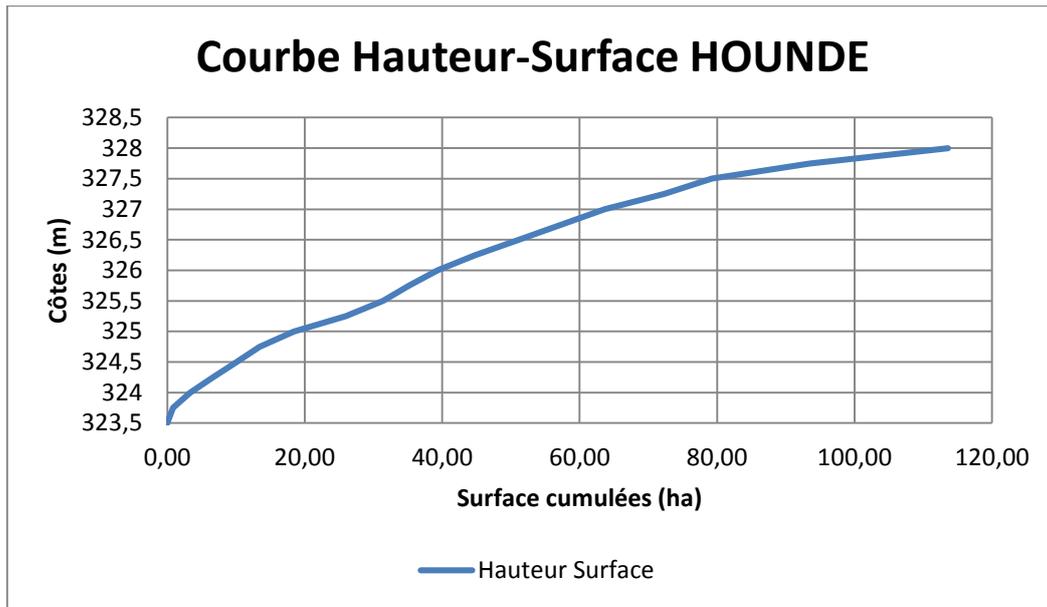
Cotes	Surface	Hauteur	Surf. moy.	Volume elem	Volume cumulé
323,5	0	0	0	0	0
323,75	16750	0,25	8 375,00	2 093,75	2 093,75
324	33500	0,5	25 125,00	12 562,50	14 656,25
324,25	33500	0,75	33 500,00	25 125,00	39 781,25
324,5	33500	1	33 500,00	33 500,00	73 281,25
324,75	33500	1,25	33 500,00	41 875,00	115 156,25
325	67000	1,5	50 250,00	75 375,00	190 531,25
325,25	83751	1,75	75 375,50	131 907,13	322 438,38
325,5	25125	2	54 438,00	108 876,00	431 314,38
325,75	50250	2,25	37 687,50	84 796,88	516 111,25
326	33500	2,5	41 875,00	104 687,50	620 798,75
326,25	75375	2,75	54 437,50	149 703,13	770 501,88
326,5	50250	3	62 812,50	188 437,50	958 939,38
326,75	75375	3,25	62 812,50	204 140,63	1 163 080,00
327	50250	3,5	62 812,50	219 843,75	1 382 923,75
327,25	122613	3,75	86 431,50	324 118,13	1 707 041,88
327,5	16750	4	69 681,50	278 726,00	1 985 767,88
327,75	267998	4,25	142 374,00	605 089,50	2 590 857,38
328	134000	4,5	200 999,00	904 495,50	3 495 352,88

La cote $Z = 327,25\text{m}$ représente la cote du déversoir donc la cote du plan d'eau normal.

Le volume d'eau mobilisable par le barrage de HOUNDE est donc de 1,7 millions de m^3 . La figure ci-dessous représente la courbe hauteur-volume du barrage.



Cotes	Surface	Hauteur	Surf. moy.	Surface	surfaces cumulées (ha)
323,5	0	0	0	0	0,00
323,75	16750	0,25	8 375,00	375,00	0,84
324	33500	0,5	25 125,00	33 500,00	3,35
324,25	33500	0,75	33 500,00	67 000,00	6,70
324,5	33500	1	33 500,00	100 500,00	10,05
324,75	33500	1,25	33 500,00	134 000,00	13,40
325	67000	1,5	50 250,00	184 250,00	18,43
325,25	83751	1,75	75 375,50	259 625,50	25,96
325,5	25125	2	54 438,00	314 063,50	31,41
325,75	50250	2,25	37 687,50	351 751,00	35,18
326	33500	2,5	41 875,00	393 626,00	39,36
326,25	75375	2,75	54 437,50	448 063,50	44,81
326,5	50250	3	62 812,50	510 876,00	51,09
326,75	75375	3,25	62 812,50	573 688,50	57,37
327	50250	3,5	62 812,50	636 501,00	63,65
327,25	122613	3,75	86 431,51	722 932,50	72,29
327,5	16750	4	69 681,50	792 614,00	79,26
327,75	267998	4,25	142 374,00	934 988,00	93,50
328	134000	4,5	200 999,00	1 135 987,00	113,60



Vérification des ouvrages

➤ Les dimensions hydrauliques du seuil

N'ayant pas le débit de base de dimensionnement du barrage actuel, il est difficile de connaître la lame d'eau au-dessus du déversoir. A partir du débit de projet obtenu par nos calculs, il sera déterminé la lame d'eau au-dessus du déversoir à partir des dimensions pris sur le terrain. Pour plus de sécurité vis-à-vis de l'incertitude des changements climatiques, le laminage ne sera pas pris en compte. Connaissant la longueur actuelle du déversoir qui est de 40 m, la formule du seuil dénoyé est utilisée pour déterminer la lame d'eau au-dessus du déversoir.

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

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

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

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

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

G (m/s³): Accélérateur de pesanteur

$$h = \left(\frac{78,98}{0,4 * 40 * \sqrt{2 * 9,81}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$h = 1,07m$$

➤ **Vérification de la revanche libre**

Approche empiriques

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

• **Formule de Molitor**

Pour le calcul de Fetch on applique la formule suivante :

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

$$\text{La valeur du fetch } f = \frac{4,75}{0,00427} = \mathbf{1,11 \text{ km}}$$

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

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

La vitesse maximale du vent à la station de HOUNDE est 13 km/h.

$$h = 0,76 + 0,032\sqrt{13 * 1,11} - 0,26 * \sqrt[4]{1,11}$$

$$\mathbf{h = 0,61m}$$

Formule de Gaillard

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

Avec h = 0,61 m

$$V = 1,5 + 2 * 0,61$$

$$\mathbf{V = 2,72 \text{ m/s}}$$

$$R = 0,754 * H + \frac{V^2}{2g} \text{ Avec } h = 0,61 \text{ m et } V = 2,72 \text{ m/s}$$

$$R = 0,754 * 0,61 + \frac{2,72^2}{2 * 9,81}$$

$$\mathbf{R = 0,84m}$$

Approche simplifié

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

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

Source : Petits Barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi-

Cemagref – Comité Français des grands barrages.

Pour une hauteur de la digue de 4,75 m et un volume de la retenue de 1,7 Mm³, le coefficient $R = H^2\sqrt{V} = 29,48$. En procédant par interpolation la revanche minimale est de 0,59 m.

Il sera donc considéré une valeur de :

$$R = 60cm$$

Avec la digue fixé à la côte 328,5 m, la revanche libre observé au-dessus du déversoir actuel est de : $R = \text{côte digue} - (\text{côte PEN} + \text{Lame d'eau au-dessus du déversoir})$

$$R = 328,5 - (327,25 + 1,07) = 0,18m$$

La revanche libre du déversoir est donc très insuffisante.

✓ Détermination de la longueur minimum du déversoir

Le coefficient « x_0 » se calcule par la formule :

$$x_0 = \frac{m^2 \times g \times L_1^2 \times Q_{cmax} \times t_m^3}{S^3}$$

m : coefficient de débit, pris égal à 0,4

g : accélération de la pesanteur (m/s²) : 9,81 m/s²

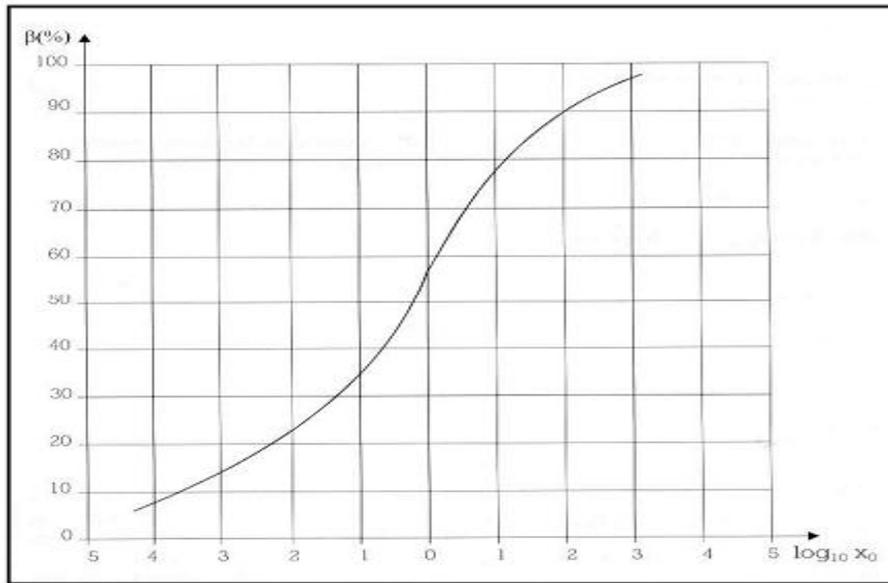
L₁ : longueur du seuil déversant (m)

Q_{cmax} : débit de crue de projet (m³/s) : 78,98 m³/s

Tm10 : temps de montée des eaux 23647,87 secondes

S : surface du plan d'eau normal (m²) : 722932,5m²

Le logarithme décimal du x_0 permet d'évaluer un coefficient β de laminage grâce à l'abaque ci-dessous (gauche). Il faut cependant vérifier que la valeur obtenue à chaque étape est au moins plus grande qu'une valeur minimale calée par la figure ci-après.



charge h(m) 0,8			L deversoir (m) 31						
L(m)	S(m ²)	m	tm(s)	Qcmax(m ³ /s)	g(m/s ²)	X0	log10 X0	B	Qemax
62,30	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	16,8401334	1,23	70,0%	55,29
43,61	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	8,25166535	0,92	65,0%	51,34
40,49	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	7,11495635	0,85	62,0%	48,97
38,62	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	6,47334727	0,81	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49
31,15	722932,5	0,4	23647,8723	78,98	9,81	4,21003334	0,62	50,0%	39,49

Le débit laminé est alors : $Q_e = \beta Q_{cmax}$.

Le tableau ci-dessus donne une synthèse des résultats et de la procédure du calcul de la longueur de deversement des eaux.

La longueur trouvée est de **31 m** qui est au-dessus de la longueur actuelle du déversoir (30 m), alors on peut dire que la longueur du déversoir est vérifiée, la différence de 1 ou 2m est sûrement due aux marges des incertitudes liées aux méthodes d'estimation de débits.

- **Calcul de la profondeur normale dans le chenal d'écoulement**

La profondeur normale **Yn** dans le chenal est déterminée par application de la formule de Manning-Strikler :

$$Q = K_s \times S(y) \times R \times h(y)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I}$$

Connaissant le débit et les caractéristiques du chenal, on peut trouver la profondeur normale.

En pratique, on établit une équation en fonction de Y_n , qui est égale à 1.

- Q : débit de crue (m^3/s) : 39,49 m^3/s
- K_s : Coefficient de rugosité de Strickler, pris égal à 70
- I : pente de 2/1000
- m : fruit des berges, pris égal à 1
- b : base du chenal (m) : 31m.
- Y_n : tirant d'eau normal (m)

$$y_n = 0.55 \text{ m et } y_c = 0.58\text{m}$$

CHENAL D'EVACUATION				
Q (m3/s)	39,49			
Ks	70			
I (m/m)	0,002			
m	1			
b (m)	31			
Yc (m)	0,552	Yn (m)	Variable	Deditance
$\frac{Q}{K_s \sqrt{I}} = \frac{(y_n (b + m y_n))^{\frac{5}{3}}}{(b + 2 y_n \sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}}$		0,5	9,73	
		0,58	12,46	
		0,67	15,84	
		0,75	19,11	12,61
		0,803	21,41	
		0,87	24,46	
		0,846	23,35	

• **Stabilité du déversoir**

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

Résultats (stabilité par rapport au point B)									
Designations					Force [kN/ml]		Bras de levier[m]	Moments [KN.m]	
					Verticale	Horizontale		stabilisants[+]	renversants[-]
Poids propre									
$W_1 =$	4,7	* 0,60	* 24,0		67,248		4,300	289,166	
$W_2 =$	3,75	* 4,00	/ 2,0	* 24,0	180,000		2,667	480,000	
$W_3 =$	4,0	* 0,92	* 24,0		66,696		2,000	133,392	
Poussées externes									
$P_{e1} =$	8,00	* 4,67				37,360	2,335		87,236
$P_{e2} =$	46,70	* 4,67	/ 2,0			109,045	1,557		169,746
$P_{ea} =$	0,00	* 0,00	/ 2,0			0,000	0,000	0,000	
Sous pressions									
$P_{i1} =$	8,32	* 2,50			20,810		3,350		69,713
$P_{i2} =$	0,00	* 2,10			0,000		1,050		0,000
$P_{i3} =$	28,14	* 2,50	/ 2,0		35,178		3,767		132,505
$P_{i4} =$	8,32	* 2,10	/ 2,0		8,740		1,400		12,236
Poussées des terres Amont									
$P_T =$	3,07	* 0,92	/ 2,0			1,411	0,307		0,433
Somme des forces Verticales: W					249,216				
Somme des forces Horizontales: U						147,815			
Somme des Moments Stabilisants : M_s								902,558	
Somme des Moments Renversants : M_r									471,869
Stabilité au glissement									
Coefficient de sécurité au glissement					$F_G = \frac{\sum(W - U) * \tan \varphi}{\sum P}$	1,26	Fg> 1:Condition vérifiée Ok!		
Stabilité au renversement									
Coef de renv $F_R = \left \frac{M_s}{M_R} \right $					1,91 m	Distance par rapport à B : $X = \frac{M_s - M_R}{\sum F_v}$			1,73 m
Excentricité $e = \overline{OB} - X$					0,37 m	Règle du tier centrale $\frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6}$			0,77 m
Contrainte en A σ_A					35,1 kPa	Contrainte en B σ_B			101,35 kPa

La stabilité au glissement

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

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

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

$F_G = 1,26 > 1$, donc la stabilité au glissement est vérifiée.

La stabilité au renversement

L'étude de stabilité au renversement consiste à calculer par rapport au point B, les moments des forces motrices et forces résistantes. On écrit le rapport des moments stabilisant sur des

moments renversant, considéré comme coefficient de sécurité au renversement. Il y a stabilité au renversement si le coefficient de renversement $F_R > 1,5$.

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

$F_R = 1,91 > 1,5$, donc la stabilité au renversement est vérifiée

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

$X = 1,73$ m

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

Excentricité $e = \overline{OB} - X$; $e = 0,37$ m

La règle du tiers centrale $\frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6} = 0,77$ m

La stabilité au renversement est vérifiée.

Stabilité au poinçonnement

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

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

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

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

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

$$\sigma_A = 35,1 \text{ kPa}$$

$$\sigma_B = 101,35 \text{ kPa}$$

D'où la stabilité au poinçonnement est vérifiée.

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

- **Bassin de dissipation**

Détermination des paramètres D , Fr et y_2

La valeur de la pelle maximale est de : $H_0 = 3,75$ m

Le débit unitaire est donné par : $q = \frac{Q}{L}$

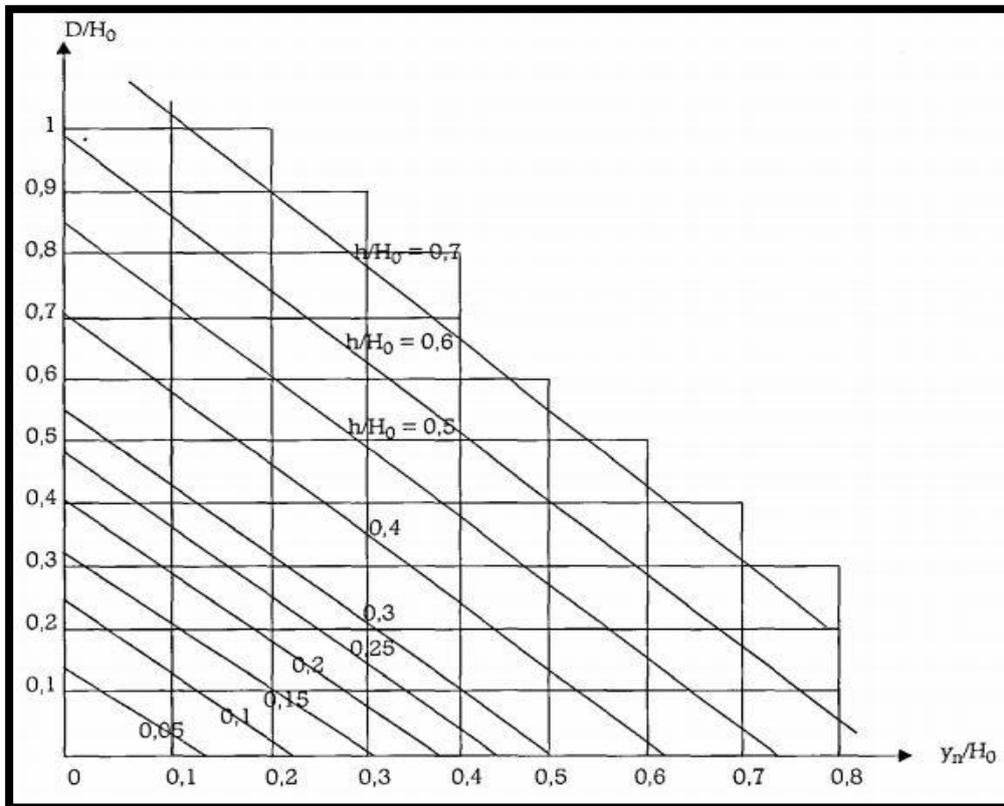
Q : débit du projet (m³/s)

L : la longueur du déversoir (m)

Donc $q = \frac{Q}{L} = \frac{78,98}{31} = 2,55 \text{ m}^3/\text{s/ml}$

Le calcul de $h/H_0 = 0,2$ et $Y_n/H_0 = 0,147$ avec h la charge qui est égale à 0,8m.

Nos valeurs sont comprises dans ces intervalles $0,05 \leq \frac{h}{H_0} \leq 0,7$ et $0,1 \leq \frac{Y_n}{H_0} \leq 0,7$ donc de manière pratique nous pouvons utiliser l'abaque suivant pour déterminer l'enfoncement D.



On obtient $D/H = 0,23$ soit $D = 0,92\text{m}$

La première valeur de D trouvée permet de faire les premières itérations avant d'obtenir la valeur réelle de D.

$H = H_0 + D$ donc $H = 3,75 + 0,92 = 4,67 \text{ m}$.

Les différents paramètres nous permettant d'avoir la valeur de Y_2 sont les suivantes :

- La vitesse unitaire $V_0 = \frac{q}{h}$ soit $V_0 = 3,2 \text{ m/s}$
- La hauteur de chute $H_C = h + \frac{v^2}{2g}$ soit $H_C = 1,32\text{m}$
- La hauteur totale $Z = H + H_C$ soit $Z = 6\text{m}$
- La hauteur normale à l'entrée du bassin : $y_1 = \frac{q}{\sqrt{2 * g * (Z - y_n)}}$ soit $y_1 = 0,25\text{m}$

- La vitesse unitaire à l'entrée du bassin $V_1 = \frac{q}{y_1}$ soit $V_1 = 10,2 \text{ m/s}$
- Le nombre de Froude à l'entrée du bassin est $Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot y_1}}$ soit $Fr = 6,51$

On a $Fr > 4.5$: le ressaut se produit alors nettement donc faut le maîtriser.

La profondeur à la sortie du ressaut est :

$$Y_2 = \frac{y_1}{2} * (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1) \text{ soit } y_2 = 2,3m$$

De même la vitesse à la sortie vaut $V_2 = \frac{q}{y_2}$ soit $V_2 = 1,1 \text{ m/s}$

yn (m)	h (m)	H0 (m)	g (m/s ²)	q (m ³ /s/ml)	V0 (m/s)	H (m)
0,55	0,8	3,75	9,81	2,55	3,2	4,67
h/H0	yn/H0	D/H0	D (m)	D pris	Hc (m)	Z (m)
0,2	0,15	0,23	0,92	0,92	1,32	6

➤ **Choix du type de bassin de dissipation**

La vitesse à l'entrée du bassin de dissipation $V_1 = 10,2 \text{ m/s} < 15 \text{ m/s}$, donc il est recommandé d'utiliser un bassin USBR II.

➤ **Longueur de bassin (Abaque)**

Longueur du bassin (abaque)				
Fr	Y ₂	L/y ₂	L	L retenue
6,51	2,3	2,7	4,88	5

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

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

$$P = 0,1 \times (1,81 + 10,33)$$

$$P = 1,2 \text{ m}$$

➤ **Blocs Chicanes**

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

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

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

Tableau 17 : Paramètres des blocs chicanes

Les blocs chicanes							
Fr	y1	h2/y1	Pente	La hauteur h2 (m)	Largeur (m)	Espacement (m)	épaisseur de crête (m)
6,51	0,15	2	V/H=1/1	0,30	0,20	0,20	0,05

Les blocs de chute

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

Tableau 18 : Paramètres des blocs de chute

Les blocs de chute (abaque)			
Fr	La hauteur h1(m)	La largeur à la base b1 (m)	esp, e1 (m)
6,51	0,15	0,15	0,15

➤ **Seuil terminal du bassin**

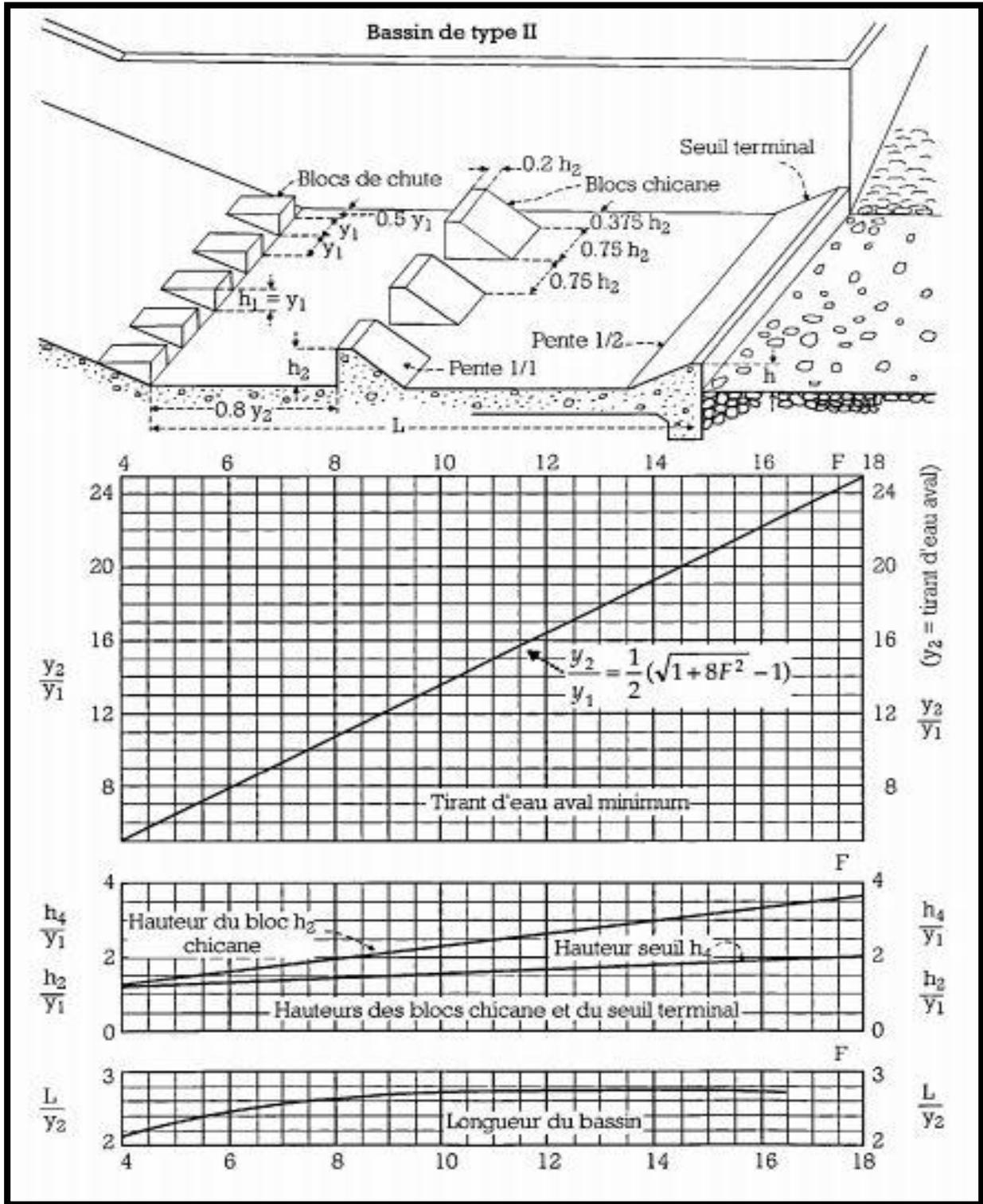
Seuil terminal du bassin				
Fr	Y ₁ (m)	H ₄ /y ₁	Pente	Hauteur h4 (m)
6,51	0,15	2	2H/1V	0,20

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

$$d = 0,8 \times y_2 = 0,8 \times 1,81$$

$$d = 1,44 \text{ m}$$

Lame d'eau sur le déversoir h (m)	0,8
Hauteur maximale d'eau sur le déversoir H (m)	4,67
Enfoncement du bassin D (m)	0,92
Débit de la crue laminée Q (m ³ /s)	75,33
Débit unitaire q (m ³ /s/ml)	2,55
Vitesse au-dessus du seuil V0 (m/s)	3,2
Ligne d'eau H0 (m)	3,75
Hauteur de chute Z (m)	6
Tirant d'eau avant ressaut Y1 (m)	0,15
Vitesse à l'entrée du bassin V1 (m/s)	10,2
Nombre de Froude Fr	6,51
Bassin retenue	bassin type II en cyclopéen
Tirant d'eau conjuguée Y2 (m)	2,3
Longueur du bassin de dissipation	5
Hauteur du seuil termina h4 (m)	0,15
Hauteur des blocs chicanes h2 (m)	0,25
Distance entre chicanes e2 (m)	0,2
Hauteur des blocs chutes h1 (m)	0,13



• ANNEXE 2 : Données pluviométriques

Données pluviométriques mensuelles de HOUNDE de 1980-2016

PLUVIOMETRIE TOTALE													
	Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Houndé	1980	0	0	0	41,3	155	117	232	315	94,2	88,2	9,8	0,8
Houndé	1981	0	0	13,7	49	116	178	152	269	133	4,4	0	0
Houndé	1982	0	8,1	3,2	75,7	51,5	76,5	110	204	104	74	29,2	0
Houndé	1983	0	0	0	41,8	88,4	94,4	196	187	164	0,9	0	0
Houndé	1984	0	0	8,6	7,3	119	103	60,4	168	221	28,1	0	0
Houndé	1985	0	0	0	25,5	124	195	250	250	151	46,9	0	0
Houndé	1986	0	0	0	27,7	147	101	215	236	213	19,5	29,4	0
Houndé	1987	0	12	27,5	0,9	67,5	134	146	218	127	23,5	25,3	0
Houndé	1988	0	0	0	81,8	135	147	184		120	33,6	0	0
Houndé	1989	0	0	0	0	1,2	46,1	121	289	130	28,3	0	2
Houndé	1990	0	0	0	17,2	59,8	99,6	200	137	179	57,5	0	28,8
Houndé	1991	0	0	10,4	54,8	151	189	127	216	94	94	0	0
Houndé	1992	0	0	0	7,3	84,5	114	168	255	170	76,5	0	0
Houndé	1993	0	2,5	3,7	9,1	14	91,5	183	228	133	38,6	0	0
Houndé	1994	0	0	26,1	34,2	23,8	227	258	222	125	154	0	0
Houndé	1995	0	0	4,3	24,9	218	259	88,2	188	85,7	2,8	23,4	0
Houndé	1996	0	0	0	32,8	94,3	81,8	130	324	134	33	0	0
Houndé	1997	0	0	0	64,1	10	97,3	194	196	119	70,4	35,7	0
Houndé	1998	0	0	0	45,6	118	83,6	187	296	228	18	0	0
Houndé	1999	0	0	0	25,3	109	84,2	295	379	171	46,6	0	0
Houndé	2000	10,6	0	3,5	19,1	93,2	90,3	136	176	250	47,2	0	0
Houndé	2001	0	0	9,8	4,5	94,4	180	169	190	147	42,3	4,1	0
Houndé	2002	0	0	0	36,9	54,4	178	173	203	104	45,6	0	0
Houndé	2003	0	0	12,4	25,4	122	106	136	298	228	36,6	0	0
Houndé	2004	0	6,1	0	49,7	63,1	50	160	175	57,4	0	7,8	0
Houndé	2005	0	0	5,9	15,1	31,4	85,7	93,9	76,9	140	21,6	0	0
Houndé	2006	0	0	5,2	13,9	44,6	171	116	266	321	109	0	0
Houndé	2007	0	0	0	69,8	12	124	236	222	59,9	33,7	0	0
Houndé	2008	0	0	15,3	9,9	28,7	107	203	301	189	36,2	0	0
Houndé	2009	0	0	32	21,4	31,9	121	123	213	181	58,5	0	0
Houndé	2010	0	0	0	38,8	143	103	124	221	187	49,2	0	0
Houndé	2011	0	0	1,5	18,7	88,3	168	217	289	135	15,6	0	0
Houndé	2012	0	19,3	6,7	49	37,5	68,5	274		82,6	9,9	22	0
Houndé	2013	0	0	25	87,4	50,7	87,8	206	249	143	50,3	0	0

Etudes de réhabilitation du barrage de HOUNDE

Houndé	2014	6,1	0	1,1	27,5	57,8	174	165	233		49,4	18,5	0
Houndé	2015	0	0,5	0	0	49,5	74	235	304	245	38,1	5,2	0
Houndé	2016	0	0	3,3	25,1	40,7	120	195	185	110	33,9	0	0

Données pluviométriques maximales journalières de HOUNDE de 1980-2016

PLUVIOMETRIE MAXIMALE EN 24H													
		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Houndé	1980	0	0	0	33,3	41,4	22	70,2	49,1	22,7	31,6	9,8	0,7
Houndé	1981	0	0	13,7	37,9	42,4	50,6	33,4	42,5	31,1	3,3	0	0
Houndé	1982	0	8,1	2,2	38,6	35,6	21,8	23	57,6	19,2	25	12,2	0
Houndé	1983	0	0	0	41	24	27,3	49	54,9	26	0,9	0	0
Houndé	1984	0	0	8,6	7,3	38,2	48,4	14	37,2	59,8	15,1	0	0
Houndé	1985	0	0	0	12,2	72,2	59,2	56,4	56,6	31,2	22,2	0	0
Houndé	1986	0	0	0	14,2	62,4	28,2	68,5	47,1	49,8	19,5	28,4	0
Houndé	1987	0	12	14,5	0,9	50,1	25	63,9	44,8	69,6	10,5	14,8	0
Houndé	1988	0	0	0	29,9	55	26	47,6		23,4	30,4	0	0
Houndé	1989	0	0	0	0	1,2	29,5	38,7	54,4	29,5	11,3	0	2
Houndé	1990	0	0	0	6	22,1	39,5	83,3	54,6	49	35	0	28,8
Houndé	1991	0	0	7,2	43,6	37	58	33	42	30,5	47	0	0
Houndé	1992	0	0	0	5	28,8	38	54,6	31,7	44,6	50	0	0
Houndé	1993	0	2,5	3,7	4,2	10,8	67,6	35,9	49,6	31,1	18,5	0	0
Houndé	1994	0	0	14,7	34,2	7,3	54,3	60,1	51,3	46	62,5	0	0
Houndé	1995	0	0	4,3	12,9	79,5	72,7	46	55,3	21,4	1,8	21,3	0
Houndé	1996	0	0	0	20	26,2	32	54	60,5	47,1	18	0	0
Houndé	1997	0	0	0	41,5	10	39,9	81	48	33,9	34,6	35,7	0
Houndé	1998	0	0	0	42,3	23,5	28	36	59	54,1	12,5	0	0
Houndé	1999	0	0	0	12,5	26,7	47,7	80,9	95	52,2	16	0	0
Houndé	2000	10,6	0	3,5	19,1	28,3	24,1	55,6	35,7	45,8	16,9	0	0
Houndé	2001	0	0	9,8	3,3	28,7	45,3	45,3	37,7	45,1	22,2	4,1	0
Houndé	2002	0	0	0	30,2	15,2	38,4	49,8	55	33,2	24,4	0	0
Houndé	2003	0	0	10,6	18,5	73,6	31	31,8	56,6	89,9	14,5	0	0
Houndé	2004	0	6,1	0	47,4	20,7	18,9	27,3	35,1	25,2	0	7,8	0
Houndé	2005	0	0	5,9	7,5	11,5	28	28,2	17,8	28,1	9,6	0	0
Houndé	2006	0	0	5,2	12,9	21,6	36,8	31,7	59,2	69,1	32	0	0
Houndé	2007	0	0	0	44,4	6,7	30,5	40,3	35	18,6	21	0	0
Houndé	2008	0	0	11,4	9,9	15,9	41,4	46,9	72	48,9	30	0	0
Houndé	2009	0	0	29,5	17,9	12	42,1	35	43,2	52,5	25,9	0	0
Houndé	2010	0	0	0	21,3	49,4	42,6	29,2	47,5	40,5	24,5	0	0
Houndé	2011	0	0	1,5	12,1	62	31,4	59,3	62	35	5,3	0	0
Houndé	2012	0	12,5	6,7	38,2	19,8	26,3	39,1	48	17,2	5,1	22	0
Houndé	2013	0	0	19,6	51,2	22,6	20	40,6	58,1	32,3	16,3	0	0
Houndé	2014	6,1	0	1,1	19,4	46,5	44,1	31,9	59,4		45,5	14	0
Houndé	2015	0	0,5	0	0	20,7	25,4	103,3	59,3	55	12,9	5,2	0
Houndé	2016	0	0	3,3	10,5	14,1	22,6	34,1	45	22,6	14,3	0	0

- **ANNEXE 3 : Etude d'impact environnemental**

De ce projet, de réhabilitation du barrage de HOUNDE, les principaux impacts sur l'environnement seront élucidés et nous développerons les impacts attendus sur le plan socio – économique dans les secteurs suivants : l'agriculture, l'élevage, la pêche-pisciculture, la foresterie, le commerce. Ils peuvent être appréciés comme suit :

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

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

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

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

Les espoirs sont aujourd'hui sur le PRBA dont les résultats attendus de ses actions contribueront à faire de HOUNDE, une commune émergente qui contribuera à amorcera son envol économique.

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

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

leur adhésion au projet.

2. Impacts attendus sur la santé des populations

Les principaux impacts sanitaires suspectés dans le contexte de ce projet portent sur les risques de propagation des maladies sexuellement transmissibles (IST/VIH/SIDA) du fait du brassage de populations d'horizons divers (notamment la présence des manœuvres étrangers sur les chantiers) : ces risques sont d'ailleurs pris au sérieux dans le Plan de Gestion Environnemental et Social (PGES) élaboré qui comporte un volet Information/Sensibilisation sur le VIH/SIDA. Par ailleurs, sur le plan de l'hygiène, de la santé et de la sécurité, d'autres impacts, non moins importants, suspectés du projet sont inhérents, aux nuisances (dégagement de fumée, bruits, vibrations et poussières), aux risques d'accidents susceptibles de se produire lors de la mise en œuvre des activités envisagées, aux pollutions diverses par les hydrocarbures, les déchets solides et liquides.

D'une façon générale, les maladies liées à la présence de l'eau vont certainement voir leur prévalence augmenter là, où les conditions de stockage des eaux seront améliorées : il s'agit du paludisme, des bilharzioses, des maladies diarrhéiques.

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

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

3. Impacts attendus sur les conditions de vie et le mieux – être des populations

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

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

4. Secteur de l'agriculture

C'est le secteur de l'irrigation qui connaîtra des impacts positifs à travers la réhabilitation du

de la prise d'eau du barrage, ce qui facilitera l'irrigation sur le périmètre existant (30 ha). Cette superficie permettra de réaliser 120 parcelles aménagées de 0,25 Ha au profit des populations. Pour les populations de la combe de HOUNDE, l'aménagement de périmètre irrigué en aval du barrage est par avance bien apprécié.

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

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

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

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

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

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

Pour atteindre ses objectifs et « impacter le secteur de l'irrigation », il est recommandé que le projet procède à l'élaboration d'un programme de renforcement des capacités techniques et matérielles des producteurs axé sur leurs véritables besoins dans les filières à promouvoir sur site. La formulation d'un tel programme s'avère de tout point de vue indispensable dans la mesure où les populations agricoles aspirant aux parcelles aménagées n'ont pas d'expériences confirmées en agriculture irriguée.

Ce programme gagnerait à mettre l'accent sur :

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

d'envasement et d'ensablement du barrage.

✓ **Valorisation des productions :**

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

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

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

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

Elles impacteront considérablement les réalités agro – économiques comme suit :

- Réduction des pertes post – récoltes à travers la réalisation des aires de séchages des céréales (maïs, riz) et de battage du riz ;
- Amélioration des conditions de stockage et de conservation durable des récoltes par la construction d'un magasin de stockage de 100 Tonnes ;
- Facilitation de l'accès aux intrants homologués (fertilisants et produits phytosanitaires) par leur stockage dans le magasin de stockage : le magasin de stockage prévu sera compartimenté de manière à offrir un cadre de stockage des intrants ;
- Amélioration des conditions de commercialisation/enlèvement des produits et d'approvisionnement des producteurs en facteurs de production grâce à la réalisation de la voie d'accès au site.

5. Secteur de l'élevage

Sur le plan socio – économique, le secteur de l'élevage sera très sensiblement impacté par les actions du projet dans les principaux segments dont, l'élevage agro – pastoral conduit par les communautés villageoises, l'élevage pastoral sédentarisé conduit par les professionnels « peuhls », l'élevage transhumant conduit par les bergers en provenance des différents horizons. En effet, les trois volets du pastoralisme énumérés bénéficieront spécifiquement, de meilleures

conditions durables d'abreuvement et de conduite des troupeaux grâce à la réhabilitation du barrage, à la réalisation des tous premiers points à vocation purement pastoral dans la zone et à la réalisation de pistes d'accès à l'eau par le bétail.

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

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

6. Secteur des Pêche et pisciculture

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

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

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

7. Secteur du Commerce

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

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

• ANNEXE 4 : Devis de la réhabilitation

	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	PRIX
I	Installation et Service				
I.1	Amenée, mise en place et repliement des installations générales	FF	1	23000000	23000000
I.2	Fourniture de dossier d'exécution et de recollement	FF	1	2000000	2000000
II	Digue				
II.1	recépage des arbres				
II.1.1	nettoyage du talus aval	m ²	4000	500	2000000
II.1.2	Nettoyage du talus amont	m ²	4000	1000	4000000
II.2	Traitement de fuite d'eau au pied du talus				
II.2.1	Taillage du remblai au pied du talus aval aux endroits des fuites	m ³	100	25000	2500000
II.2.2	Pose de sable calibré comme couche de drainage	m ³	50	30000	1500000
II.2.3	Gravier calibré pour drainage	m ³	50	45000	2250000
II.3	Traitement de ravine				
II.3.1	Taillage en redan du talus au niveau des ravinements importants	m ³	200	25000	5000000
II.3.2	apport de remblai argileux pour correction du talus de la digue	m ³	200	25000	5000000
II.4	Drain au pied du talus aval				
II.4.1	Déblais	m ³	100	5000	500000
II.4.2	Enrochement à la main pour drain de pied aval (ép.25 cm)	m ³	100	10000	1000000
II.5	Protection de la digue				
II.5.1	Remise en état du perré sec pour protection du talus amont (ép.25 cm)	m ³	256	10000	2560000
II.5.2	Correction de la couche de pose talus aval (ép.10cm)	m ³	1 826	15 000	27390000
II.5.3	Correction de la maçonnerie de moellons pour mur de crête aval	m ³	29	15000	435000
II.5.4	Correction de la couche de couronnement de la crête	m ³	1 289	10 000	12890000
II.6	Mur parapet				
II.6.1	Déblai de la bordure de crête avale pour le mur parapet	m ³	1500	5000	7500000
II.6.2	Béton cyclopéen pour le mur parapet	m ³	748	25000	18700000
III	Ouvrage de prise et de vidange				

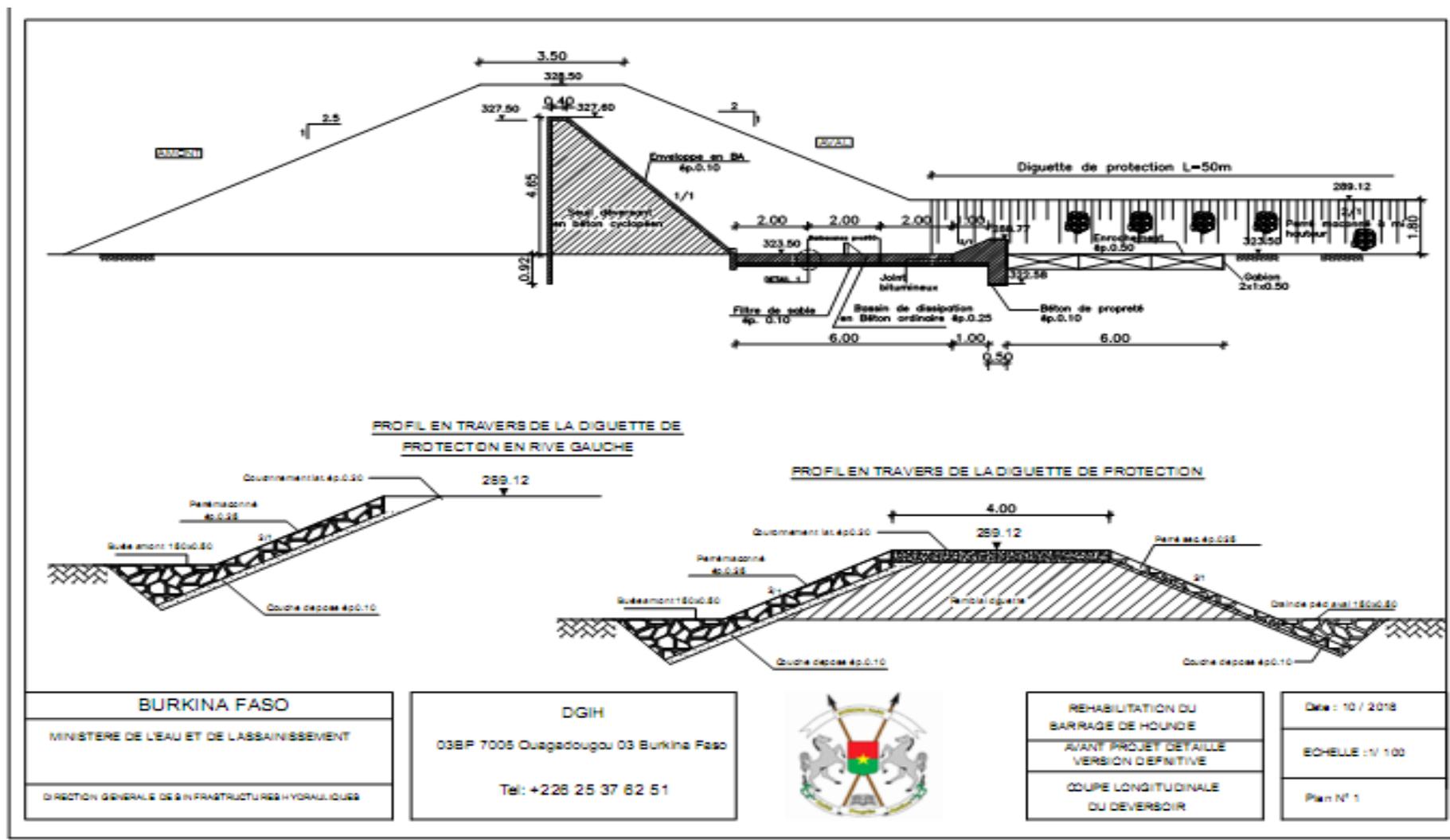
Etudes de réhabilitation du barrage de HOUNDE

III.1	Taillage en redan de la digue pour ouverture de passage de la conduite	m ³	70	5000	350000
III.2	Apport de matériau argileux pour remise en état de la digue	m ³	70	10000	700000
III.3	Béton de propreté dosé à 150 kg/m ³	m ³	20	50000	1000000
III.4	Béton armé dosé à 350 kg/m ³	m ³	20	160000	3200000
III.5	Enrobage de la conduite dans le matériau sableux drainant	m ³	8	50000	400000
III.6	Fourniture et pose de conduite en PVC DN 300	ml	30	10000	300000
III.7	Vanne papillon Ø200 et accessoires	u	2	25000	50000
III.8	Cône réducteur 300/200	u	1	15000	15000
III.9	Caillebotis posé sur cornière pour bacs	u	2	30000	60000
III.10	Echelle de descente dans les bacs	u	2	50000	100000
III.11	Maçonnerie de moellons pour marches	m ³	4	45000	180000
IV	Déversoir et chenal d'évacuation				
IV.1	Correction perré maçonné sur digue dans la zone du déversoir	m ²	5	30000	150000
IV.2	Enduit sur parement aval du seuil	m ²	15	20000	300000
IV.3	joint waterstop	ml	30	50000	1500000
V	Diguette de protection				
V.1	Parement avec gabions pour fin du bassin de dissipation	m ³	45	45000	2025000
V.2	Enrochement à la main pour blocage du gabion	m ³	30	25000	750000
	Total brute				129305000
	Imprévus physiques (20%)				25861000
	TVA (18%)				23274900
	Total				178440900

• ANNEXE 5 : Simulation de la retenue

Exploitation de la retenue													
Périodes	Début période		Evaporation			Infiltration			Humains	Irrigation	Pastoralisme	Fin de période	
	niveau	Volume	Hauteur d'eau évaporée (mm)	Nouveau niveau	Volume corresp. (m3)	Hauteur d'eau infiltrée	Nouveau niveau	Volume corresp (m3)	Volume prélevé	Volume consommé	Volume consommé	Volume	Niveau
Novembre	327,25	1 707 041,88	170,4787375	327,08	1707041,71	90	326,99	1707041,62	3312	26 887	4727	1 680 154	327,34
Décembre	327,34	1 680 154,42	194,0792472	327,14	1382923,89	93	327,05	1382923,80	3422,4	45 714	4727	1 337 210	326,96
Janvier	326,96	1 208 976,69	206,3074997	326,76	1163080,01	93	326,66	1163079,91	3422,4	56 832	4727	1 106 248	326,70
Février	326,70	837 458,10	201,4876555	326,49	958939,37	84	326,41	958939,29	3091,2	54 748	4727	904 191	326,47
Mars	326,47	574 675,94	222,291632	326,25	770501,88	93	326,16	770501,79	3422,4	51 745	4727	718 757	326,23

• ANNEXE 6 : Coupe longitudinale du déversoir



• ANNEXE 7 : Profil en travers de la digue

