



**ETUDES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DU BARRAGE DE
SIGOGUIN, COMMUNE DE KOUDOUGOU, PROVINCE DU BOULKIEMDE
(REGION DU CENTRE-OUEST AU BURKINA FASO)**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER EN GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le 26 janvier 2021 par :

Hamado KABORE (20170199)

Directeur de mémoire : Moussa LO, Enseignant en Génie Civil et Hydraulique, 2iE

**Maître de stage : Aley SAOUTO, Ingénieur du Génie Rural, Direction Générale des
Infrastructures Hydrauliques (DGIH)**

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Pr. Harouna KARAMBIRI**

Membres et correcteurs : **Dr. Lawani Adjadi MOUNIROU**

M. Axel BELEMTUGRI

Promotion [2020/2021]

DEDICACES

A

MES QUATRE (4) PRINCESSES :

MASÉNI YASMINE ;

DJAMILATOU ;

SIRİNA ;

DAALIATOU.

CITATION

Mathieu, un géotechnicien disait : « celui qui m'écoute est comme le sage qui a bâti sa maison sur le roc. La pluie est tombée, les torrents sont venus, les vents ont soufflé et se sont déchaînés contre cette maison mais elle ne s'est pas abattue car elle était fondée sur le roc ».

REMERCIEMENTS

Je tiens à adresser mes remerciements à :

- L'ensemble du corps professoral et administratif de 2iE, particulièrement à tous ceux qui ont contribué à ma formation ;
- Mon Directeur de mémoire, Monsieur Moussa LO, enseignant au département Génie Civil et Hydraulique (GCH) pour sa disponibilité, son encadrement, ainsi que les orientations et les conseils qui ont guidé mes réflexions ;
- Monsieur le Directeur Général des Infrastructures Hydrauliques, pour l'opportunité de stage qu'il a bien voulu nous accorder et mettre à notre disposition les moyens nécessaires pour la réussite du stage ;
- Monsieur Martin TANGA, chef de service suivi et exploitation à la DGIH, pour sa disponibilité, ses conseils et l'appui technique à notre égard durant le stage ;
- Mon maître de stage, Monsieur Aley SAOUTO, pour sa disponibilité et son encadrement tout au long de notre stage ;
- Tout le personnel de la DGIH, pour la parfaite collaboration durant notre stage ;
- Mon épouse, Saoudata KABORE, pour son encouragement et sa patience durant les 3 ans de notre formation ;
- Mes parents (les familles KABORE et ZOEREGRE), pour leurs encouragements et leur soutien indéfectible ;
- Mon neveu, Edmond YAMBRESSINGA, pour ses encouragements et ses multiples soutiens moraux et financiers.

RESUME

Dans la dynamique de contribuer au renforcement de la sécurité alimentaire, l'Etat Burkinabè, à travers le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA), mène des actions de mobilisation des eaux de surface à travers la construction et la réhabilitation de barrages sur le territoire national. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude, base de décision pour la construction d'un barrage au profit du village de Sigoguin dans la commune de Koudougou.

Le barrage de Sigoguin est situé à l'exutoire d'un bassin versant de 210,51 km² capable de mobiliser en année quinquennale sèche un volume d'eau de 4 210 200m³. Cette quantité d'eau suffit à remplir la cuvette du barrage dont la capacité de stockage est estimée à 719 038 m³ au Plan d'Eau Normal (P.E.N), calée à la côte 275,5 m. A cette côte la superficie du plan d'eau est de 61,75ha.

La digue du barrage est en remblai homogène argileux avec un couronnement latéritique et une crête présentant une côte de 277 m. Elle a une longueur de 856 m et une largeur en crête de 3,5 m. La hauteur maximale de la digue est de 4,5 m avec des talus amont de 1V/2,5H et aval de 1V/2H de pentes.

Le déversoir en béton de section trapézoïdale centré, est long de 225 m, et est conçu pour évacuer une crue centennale de 231,54m³/s. Il est calé à la côte 275,5 m et à l'aval se trouve un bassin de dissipation à ressaut de type II.

Deux murs bajoyers de 3 m de hauteur servent de jonction entre le déversoir et la digue.

Un ouvrage de prise calé à la côte 274,10 m permet l'irrigation de 5ha à l'aval du barrage.

Le coût de l'ouvrage est évalué à neuf cent dix-neuf millions huit cent vingt-neuf mille neuf cent cinquante-deux(**919 829 952**) **francs CFA (TTC)** y compris les impacts du plan de gestion environnemental et social.

1 – Barrage

2 – Digue homogène

3 - Déversoir poids

4 -Dimensionnement

5 – Sigoguin

ABSTRACT

In order to contribute to the achievement of the objectives of the National Economic and Social Development Plan (PNDES), the State of Burkina Faso, through the General Directorate of Hydraulic Infrastructures (DGIH), carries out surface water mobilization activities with the construction and rehabilitation of dams on its territory. The Sigouin dam is included in this program.

This paper presents the results of detailed technical studies for the realization of the said dam, located in the commune of Koudougou, in BURKINA FASO.

The Sigouin Dam is located at the outlet of a 210.51 km² watershed in which the risk of erosion is negligible. This basin can bring in 1,135,252.21 m³ of water per year. The basin has a surface area of 61.74 ha with a storable volume of 719,038 m³ at the Normal Water Body (NWB).

The Sigouin dam embankment is made of homogeneous clayey fill with a lateritic crown and a crest with a 277 m slope. It has a length of 856 m and a crest width of 3.5 m. The maximum height is 4.5 m with upstream slopes of 1V/2.5H and downstream slopes of 1V/2H.

The concrete spill way, with a trapezoidal section centered in the middle, is 225 m long, and is designed to discharge a centennial flood of 231.54 m³/s. The spill way is wedged at the 275.5 m shoreline and downstream is a type II overtopping dissipation basin. Two 3 m high bays serve as a junction between the spillway and the dyke. An intake structure set at the 274.10 m hillside allows the irrigation of 5 ha downstream of the dam.

The cost of the structure is estimated at nine hundred and ten million eight hundred and twenty nine thousand nine hundred and fifty-two (**919,829,952**) CFA francs (TTC)), including the impacts of the environmental and social management plan.

1 - Mapping

2 - Homogeneous dike

3 - Weight weir

4 - Realization

5 - Sigouin

KABORE Hamado

Promotion 2020 / 2021

FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE SIGOQUIN

I. GENERALITES ET HYDROLOGIE		
I.1. LOCALISATION DU BARRAGE		
Longitude	02°24'40.79" Ouest	
Latitude	12°10'6.36" Nord	
Village	Sigoguin	
Commune	Koudougou	
Province	Boulkiemdé	
Région	Centre – Ouest	
Distance par rapport à Ouagadougou	121 km	
I.2. BASSIN VERSANT		
Désignation	Unité	Valeur
Superficie	km²	210,51
Périmètre	km	78,5
Pente longitudinale	m/km	1,8
Indice global de pente	m/km	4
Longueur du cours d’eau principal	km	27,11
I.3. PLUVIOMETRIE		
Régime climatique	Zone tropicale sèche	
Pluie moyenne annuelle	mm	775
Pluie quinquennale sèche	mm	664,00
Pluie décennale sèche	mm	607
I.4. CRUES ET APPORTS		
Débit décennal	m³/s	57,68
Débit centennal (crue du projet)	m³/s	231,54
Apports liquides annuels	m³	9 472 950
Apports liquides en année quinquennale sèche	m³	4 210 200
Apports liquides en année décennale sèche	m3	2 947 140
II. CARACTERISTIQUES DE LA RETENUE ET DES OUVRAGES		
II.1. RETENUE		
Volume de la retenue au plan d’eau normal (PEN)	m³	719 038
Surface au PEN	ha	61,75
Surface au plan des hautes eaux (PHE)	ha	98,41
II.2. DIGUE		
Type et matériaux	Homogène en remblai argileux	
Longueur (y compris déversoir)	m	856
Côte de la crête	m	277
Hauteur maximale	m	4,5
Largeur en crête	m	3,5
Pente du talus amont		1V/2,5H
Pente du talus aval	-	1V/2H

Protection des talus amont	Perré sec	
Protection talus aval	Perré sec	
Protection de la crête	Couronnement latéritique de 20 cm	
II.3. TRANCHEE D’ENCRAGE		
Largeur au fond	m	3,50
Profondeur maximale de la tranchée	m	5,50
Pente des talus de la tranchée	-	1H /3V
II.4. DEVERSOIR		
Type	Poids en béton	
Forme	Trapézoïdale	
Position	Centrale	
Longueur du seuil	m	225
Côte de calage	m	275,5
Largeur en crête	m	1,6
Angle du talus aval	°	60
Hauteur libre maximale	m	3
II.5. BASSIN DE DISSIPATION		
Type	A ressaut type II (USBR)	
Longueur	m	3,58
Profondeur	m	1,32
Dissipateur d’énergie	Blocs de chute et blocs chicanes	
Protection aval	Cage de gabion et enrochement	
II.6. OUVRAGE DE PRISE		
Type	Conduite enterrée	
Position	Rive droite	
Commande	Vanne aval	
Nature de la conduite	Fonte	
Nombre	Unité	1
Côte de calage	m	274,10
Diamètre nominal (DN)	mm	300

LISTE DES ABREVIATIONS

DGIH	:	Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques
DMOH	:	Direction des Opérations de Maintenance des Ouvrages Hydrauliques
ETM	:	Evapotranspiration Maximale
ETP	:	Evapotranspiration Potentielle
FAO	:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IC	:	Intervalle de Confiance
INHO	:	Inventaire des Ouvrages Hydrauliques
KG	:	Coefficient de GRAVELUS ou Indice de compacité
MEA	:	Ministère de l'Eau et de l'Assainissement
MNT	:	Modèle Numérique du Terrain
NIES	:	Notice d'Impact Environnemental et Social
ORSTOM	:	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PDIS	:	Programme de Développement Intégré de la vallée de Samendéni
PEN	:	Plan d'Eau Normal
PEPA- MR	:	Projet d'Eau Potable et d'Assainissement en Milieu Rural
PHE	:	Plan de Hautes Eaux
PMVEC	:	Projet de Mobilisation et de Valorisation des Eaux de surface dans la région du Plateau Central
PNDES	:	Plan National de Développement Economique et Social
PRBA	:	Projet de Réhabilitation de Barrages et d'Aménagement de périmètres irrigués et de bas-fonds dans les provinces du Boulkiemdé, du Ziro, du Sanguié et des Balés
PRPV/LB	:	Projet de Restauration, de Protection et de Valorisation du Lac Bam
RUSLE	:	Equation Universelle Révisée de Perte en Sol
USLE	:	Equation Universelle des Pertes en Terre

SOMMAIRE

DEDICACES	I
CITATION	II
REMERCIEMENTS.....	III
RESUME	IV
ABSTRACT.....	V
FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE SIGOQUIN	VI
LISTE DES ABREVIATIONS	VIII
SOMMAIRE.....	IX
LISTE DES TABLEAUX	XI
LISTE DES FIGURES.....	XII
INTRODUCTION	1
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET	2
I.1. Présentation de la structure d'accueil	2
I.2. Présentation du projet	3
I.2.1. Localisation de la zone d'étude.....	3
I.2.2. Objectifs et résultats attendus de l'étude	4
I.2.3. Milieu physique de la zone d'étude.....	5
I.2.4. Démographie de la zone d'étude.....	6
II. MATERIELS ET METHODES	6
II.1. Matériels	6
II.2. Méthodes.....	7
II.2.1. Recherche bibliographique et collecte de données.....	7
II.2.2. Etudes topographiques	7
II.2.3. Etudes géotechniques.....	7
II.2.4. Etudes socio-économiques	7
II.2.5. Etude hydrologique.....	8
II.2.6. Etude de la cuvette.....	17
II.2.7. Dimensionnement de la digue	24
II.2.8. Dimensionnement des ouvrages annexes	30
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	35
III.1. Synthèses des données de base.....	35
III.1.1. Synthèses des études topographiques	35
III.1.2. Synthèses des études géotechniques	35
III.1.3. Synthèses des études socio-économiques.....	35
III.2. Etude Hydrologique.....	36
III.2.1. Analyse fréquentielle des pluies	36
III.2.2. Caractéristiques du bassin versant	37
III.2.3. Courbe hypsométrique.....	39
III.2.4. Prédétermination de la crue de projet.....	40
III.2.5. Crue de rupture du barrage.....	41

III.3. Etude de la retenue	42
III.3.1. Evaluation des apports liquides	42
III.3.2. Evaluation des apports solides et cartographie du risque d'érosion hydrique	42
III.3.3. Evaluation des pertes d'eau par évaporation et par infiltration.....	47
III.3.4. Evaluation des besoins en eau	48
III.3.5. Courbes hauteurs-volumes et hauteurs-surfaces	48
III.3.6. Courbe d'exploitation du barrage	50
III.4. Dimensionnement du barrage de Sigouin.....	50
III.4.1. Tranchée d'ancrage: sols de fondation sous la digue	50
III.4.2. Digue	52
III.4.3. Stabilité des pentes de talus.....	52
III.4.4. Protection des talus.....	53
III.5. Dimensionnement du déversoir et des ouvrages annexes	54
III.5.1. Caractéristiques du déversoir	54
III.5.2. Etude de stabilité du déversoir	54
III.5.3. Dimensionnement du mur bajoyer.....	56
III.5.4. Bassin de dissipation.....	56
III.5.5. Ouvrage de prise.....	56
III.5.6. Dispositif de suivi et d'entretien.....	57
IV. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL.....	57
V. COUT DU PROJET	58
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	58
CONCLUSION.....	58
RECOMMANDATIONS.....	59
BIBLIOGRAPHIE.....	60
ANNEXES	XIII
Annexe 1 : simulation du volume du barrage.....	XIII
Annexe 2 : Etude pluviométrique	XIV
Annexe 3 : Etude hydrologique.....	XVI
Annexe 4. Evaluation des besoins	XXIII
Annexe 5. Etude de la retenue	XXV
Annexe 6: Etudes d'impacts environnemental et social	XXXI
Annexe 7 : avant-métré	XXXVI
Annexe 8 : devis détaille.....	XXXVIII
Annexe 9 : Fond topographique du barrage de Sigouin	XLI
Annexe 10 : Profil en long du barrage de Sigouin.....	XLII
Annexe 11 : coupe de la digue du barrage de sigouin.....	XLIII
Annexe 12 : vue en plan du déversoir	XLIV
Annexe 13 : Coupe du déversoir	XLV
Annexe 14 : Ouvrages de prise.....	XLVI
Annexe 15 : le mur bajoyer	XLVII

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classes de bassin versant en fonction de la taille	9
Tableau 2 : Classe du bassin versant en fonction de la pente	10
Tableau 3:Evolution du coefficient Kr10	15
Tableau 4:les valeurs du facteur K par type des sols	20
Tableau 5:les valeurs du facteur C par type des sols	20
Tableau 6:Fruit indicatif des talus des barrages stables	28
Tableau 7:les caractéristiques du drain	29
Tableau 8:Caractéristiques des échantillons de pluies étudiées	36
Tableau 9: Synthèse de l'analyse des pluies moyennes annuelles et maximales journalières .	37
Tableau 10: Paramètres caractéristiques du bassin versant	39
Tableau 11:paramètres de détermination de la crue décennale	40
Tableau 12: Paramètres de détermination de la crue centennale	41
Tableau 13: Evaluation des apports liquides par les méthodes de RODIER et de COUTAGNE	42
Tableau 14:Evaluation des apports solides.....	47
Tableau 15:Evaluation des pertes d'eau par évaporation et par infiltration	48
Tableau 16:Evaluation des besoins en eau	48
Tableau 17:Paramètres caractéristiques de la digue	52
Tableau 18 : Synthèse de la vérification de la stabilité du déversoir	56
Tableau 19: les caractéristiques du mur bajoyer.....	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme de la DGIH	3
Figure 2 : Localisation de la zone d'étude.....	4
Figure 3: les étapes de la méthode RUSLE(El Hafid, 2018).....	21
Figure 4:Image illustrative des paramètres du drainage(COMPAORE, 1996)	29
Figure 5 : Courbe d'ajustement, Loi de GAUSS.....	37
Figure 6 : Courbe d'ajustement, Loi de GUMBEL	37
Figure 7 : Limites du bassin versant de Sigoguin	38
Figure 8 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Sigoguin.....	39
Figure 9:Hydrogramme des crues	41
Figure 10 : Carte du Facteur C du bassin versant de Sigoguin.....	43
Figure 11 : Carte du Facteur K du bassin versant de Sigoguin	44
Figure 12 : Facteur d'agressivité climatique (en MJ.mm/ha.h.an)	44
Figure 13 : Facteur topographique Ls pour le bassin versant de Sigoguin	45
Figure 14 : Facteur P des pratiques anti-érosives	45
Figure 15 : Pertes en sols (en t/ha/an) dans le bassin versant de Sigoguin	46
Figure 16:Courbe Hauteur-Volume	49
Figure 17:Courbe Hauteur-Surface	49
Figure 18:Courbe d'exploitation du barrage	50
Figure 19: Les forces agissantes sur le déversoir.....	55

INTRODUCTION

Le Burkina Faso, pays soudano-sahélien, connaît depuis le début des années 1970, une baisse régulière de la pluviosité, avec des périodes de sécheresses accrues, particulièrement dans les années 1980. De plus, les précipitations sont souvent inégalement réparties, d'une année à une autre et même au cours d'une saison des pluies. Aussi, on assiste à un accroissement des besoins en eau au fil des années, liés à l'accroissement de la population et de certains usages (agriculture, mines, etc.) très consommateurs d'eau.

La question d'eau présente donc au Burkina Faso, un certain contraste, dans la mesure où le pays dispose d'une manière générale d'une quantité d'eau assez importante, mais malheureusement, ces eaux se jettent hors du territoire burkinabè.

Pour créer les conditions favorables à la résilience des populations, les autorités définissent régulièrement des orientations pour guider la gestion des ressources en eau du pays. C'est ainsi qu'au cours des années 1983-1987 les autorités de la Révolution Démocratique et Populaire ont développé des mesures de résilience au nombre desquelles le Programme Populaire de Développement. Dans ce programme, une section était consacrée à la mobilisation des ressources en eau à travers les petits barrages afin de mettre l'eau à la disposition des populations rurales pour divers usages dont une agriculture irriguée et l'abreuvement du cheptel pendant les saisons sèches. Cette dynamique se poursuit avec le Gouvernement actuel à travers le Plan National de Développement Economique et Social (PNDES) qui consacre son axe 3 à la réhabilitation des barrages sinistrés et à la réalisation de nouveaux barrages au profit des localités qui n'en disposent pas. C'est ainsi qu'au titre du budget de l'Etat, exercice 2019, le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, à travers la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH) a lancé des études de faisabilité pour la réhabilitation et la réalisation de 19 barrages dont celui du village de Sigoguin.

C'est pourquoi, l'orientation de notre travail sur le thème « Etudes techniques de construction du barrage de Sigoguin, commune de Koudougou, province du Boulkiemdé (Région du Centre-Ouest au Burkina Faso) » s'inscrit dans le cadre du stage de fin de cycle de Master d'ingénierie à l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE) et entre en droite ligne avec le suivi par la DGIH des études commanditées.

Le présent rapport est structuré autour des points suivants : (I) présentation de la structure

d'accueil et du projet, (II) matériels et méthodes, (III) résultats et discussions, (IV) études d'impact environnemental et social, (V) coût du projet et enfin la conclusion et les recommandations.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

I.1. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Dans le cadre de notre stage de fin de cycle master, nous avons été reçus par la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH). C'est une direction centrale du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA) située à Ouaga 2000, entre l'ambassade de la république du Mali et celle de la Lybie. Ses attributions, son organisation et son fonctionnement sont régis par l'Arrêté n°2016/0063/MEA/CAB du 10 Août 2016.

La DGIH a pour principale mission, l'élaboration et le suivi de la mise en œuvre des politiques et stratégies nationales dans les domaines des infrastructures hydrauliques. Elle comprend deux directions techniques que sont :

- ✓ La Direction des Etudes et des Travaux (DET) et
- ✓ La Direction des Opérations de Maintenance des Ouvrages Hydrauliques (DMOH).

La DGIH comporte en outre des structures d'appui composées d'un Secrétariat de Direction, d'un Service Administratif et Financier et d'une Cellule d'Assistance (Figure1). Elle assure également la tutelle technique des projets/programmes de développement suivant :

- ✓ Projet de restauration, de protection et de valorisation du Lac Bam (PRPV/LB) ;
- ✓ Programme de développement intégré de la vallée de Samendéni (PDIS) ;
- ✓ Projet de réhabilitation de barrages et d'aménagement de périmètres irrigués et de bas-fonds dans les provinces du Boulkiemdé, du Ziro, du Sanguié et des Balés (PRBA) ;
- ✓ Projet de mobilisation et de valorisation des eaux de surface dans la région du Plateau Central (PMVEC).

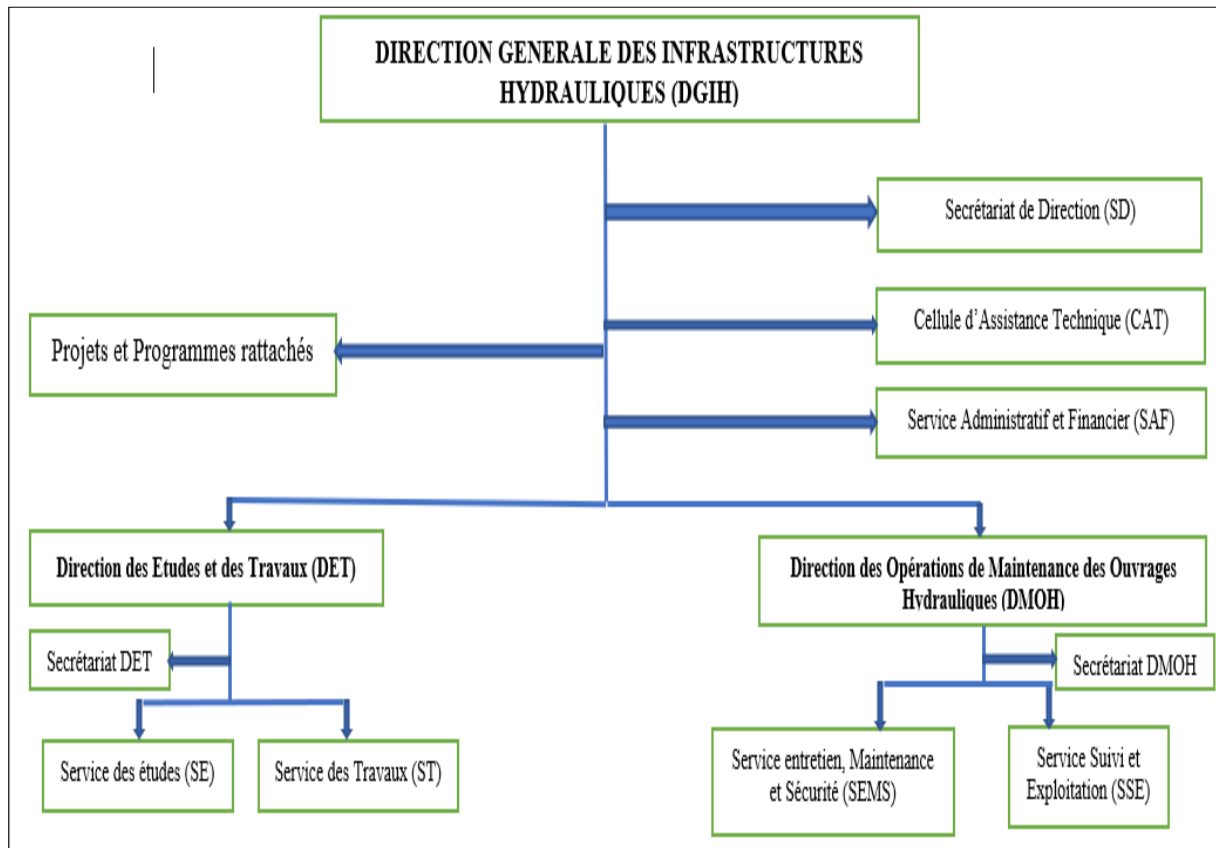


Figure 1 : Organigramme de la DGIH

I.2. PRESENTATION DU PROJET

I.2.1. Localisation de la zone d'étude

Le site retenu pour la réalisation du barrage de Sigoguin se situe dans le village du même nom dans la commune de Koudougou, province du Boulkiemdé, région du Centre-Ouest.

On accède au site en empruntant la Nationale 1 (RN1) jusqu'à Sakoinché puis la Route Nationale 14 (RN14) jusqu'à Koudougou sur environ 118 km. A partir de Koudougou, on prend la direction du village de Sigoguin sur une piste en terre longue de trois (3) Km. La distance totale à parcourir de Ouagadougou au site du barrage est d'environ 121 km.

Les coordonnées géographiques de l'exutoire du barrage, prisent sur l'axe de la digue sont :

- Latitude : 12°10'6.36" Nord soit 12,16
- Longitude : 02°24'40.79" Ouest soit 2,41

La figure 2 presente la localisation de la zone d'étude.

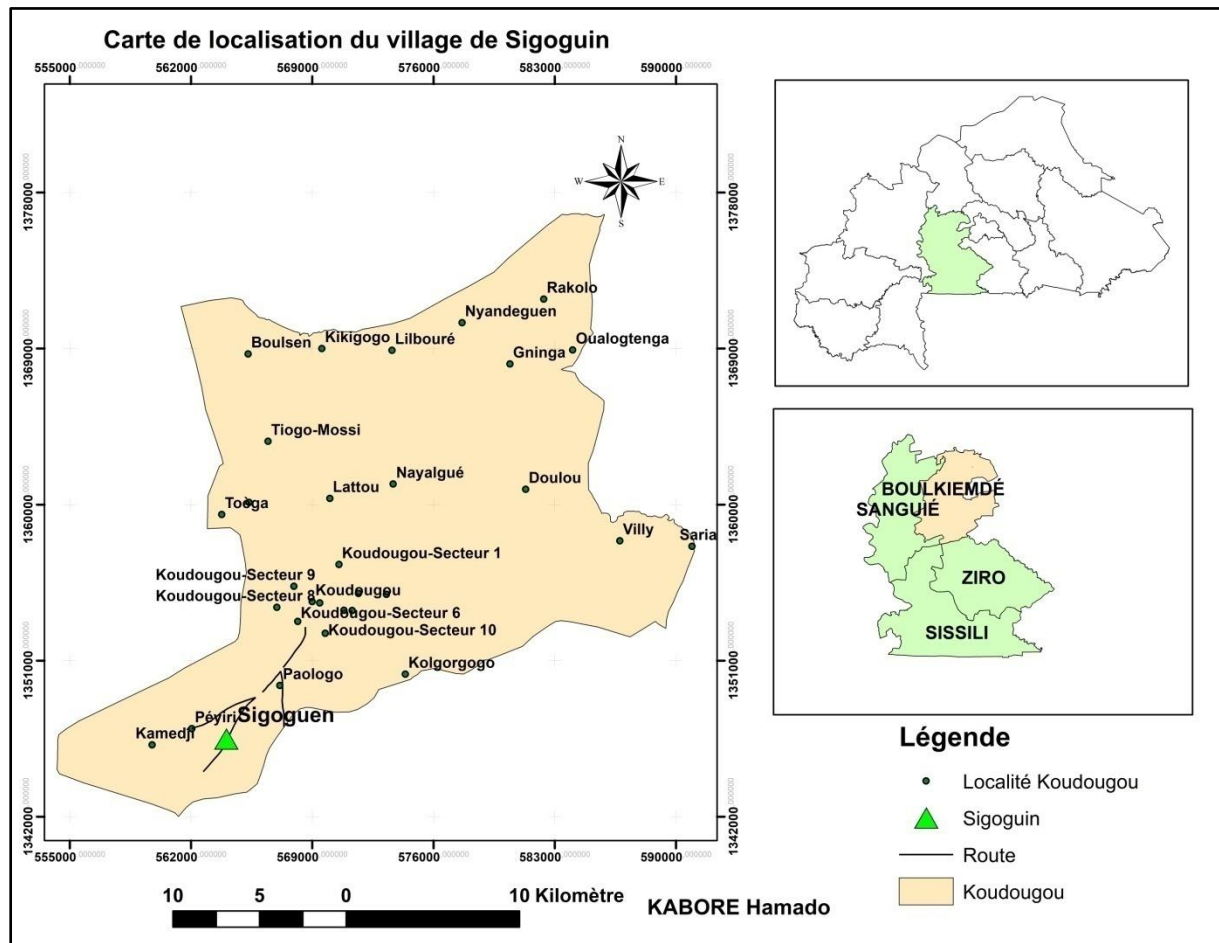


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude

I.2.2. Objectifs et résultats attendus de l'étude

Objectif global : réaliser des études techniques de faisabilité pour la construction du barrage de Sigouin.

Objectifs spécifiques : De manière spécifique, il s'agit de :

- réaliser une synthèse des études de base qui serviront à la conception et au dimensionnement des ouvrages ;
- proposer une conception et un dimensionnement des ouvrages ;
- réaliser une cartographie du risque d'érosion dans le bassin versant et proposer des aménagements pour prévenir l'envasement de la cuvette du barrage ;
- faire une analyse des impacts possibles du projet et proposer des mesures d'atténuation des impacts négatifs et de bonification des impacts positifs ;
- estimer les coûts des travaux de réalisation du projet barrage.

Résultats attendus :

- une synthèse des études de base est réalisée pour la conception et le dimensionnement de l'ouvrage ;
- une conception et un dimensionnement des ouvrages sont réalisés ;
- les zones sources d'érosion dans le bassin sont identifiées et des aménagements proposés pour prévenir le transport solide vers le barrage.
- Les impacts du projet sont connus et des mesures d'atténuation des impacts négatifs et de bonification des impacts positifs sont proposées ;
- Le coût des travaux de réalisation du projet barrage est estimé.

I.2.3. Milieu physique de la zone d'étude

I.2.3.1. Climat, sol et relief

I.2.3.1.1. Climat

La zone d'étude est située dans la zone soudano-sahélienne dont la pluviométrie est comprise entre 700 et 900 mm. Elle est caractérisée par deux grandes saisons :

- Une saison des pluies qui s'étend de juin à octobre. Les précipitations maximales mensuelles sont observées entre juillet et août ;
- une saison sèche relativement longue, de novembre à mai. Entre les mois de décembre et de janvier (pendant la période froide), la zone est soumise à un vent sec (harmattan). En avril les températures atteignent leurs valeurs maximales.

La température annuelle oscille entre un minimum de 17°C et un maximum de 40°C avec une valeur moyenne de 28°C.

I.2.3.1.2. Sol et relief

En ce qui concerne la pédologie, les sols argilo-sableux sont très dominants dans la zone d'étude. D'une manière générale, on y distingue des sols à pseudo gley sériés sur matériaux argilo sableux bigarrés, des lithosols sur cuirasse ferrugineuses, des sols tropicaux remaniés sur matériaux argilo sableux en profondeur, des sols ferrugineux tropicaux remaniés sur matériaux argilo-sableux en profondeur et des sols peu évolués d'érosion.

I.2.3.2. Végétation et hydrographie

La végétation dominante rencontrée dans la zone d'étude est la savane arbustive à *combrétacées* et à *Anogeissus leiocarpus*, dégradée par les feux de brousse et les pressions anthropiques (front de cultures, prélèvements pour le bois de chauffe ou le bois d'œuvre).

On rencontre également les formations végétales de savanes arborées à *Piliostigma reticulatum*, *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum*. Entre ces formations végétales s'étendent les zones agricoles, des jachères et des zones agro forestières situées autour des agglomérations. Dans les zones agro forestières, les principales espèces rencontrées sont entre autres *Vitellaria paradoxa* (karité) et *Lannea microcarpa* (raisinier). On rencontre également dans ces zones des *Tamarindus indica* (tamarinier) en formation en îlots ou en pieds isolés (YONI, 2019) dans les Régions du Centre-Sud et du Centre-Ouest page 34.

Sur le plan hydrographique, le bassin versant étudié se trouve dans le sous bassin versant national du Mouhoun inférieur, le bassin versant national étant le Mouhoun et celui international la Volta. Il est situé dans la province du Boulkiemdé, région du Centre-Ouest.

I.2.4. Démographie de la zone d'étude

Trois groupes ethniques se côtoient dans la zone du projet : les Mossi, les Gourounsi et les Peulhs. Au recensement général de la population et de l'habitat (RGPH, 2006), le village de Sigoguin comptait 1909 habitants dont 866 hommes et 1043 femmes regroupés dans 280 ménages. Cette population est constituée de 54,63% de femmes contre 45,37 % d'hommes. Avec un taux d'accroissement à l'échelle communal de 3,6%, la population de Sigoguin est estimée en 2019 à 2699 habitants et 6971 personnes à l'horizon du projet (2050).

II. MATERIELS ET METHODES

II.1. MATERIELS

Pour mener à bien cette étude nous avons utilisé un certain nombre d'outils qui sont :

- Google Earth et Google map pour la localisation et l'indication de l'itinéraire du site ;
- Hyfran plus pour le traitement statistique des séries de relevés pluviométriques ;
- AutoCAD 2007 et Covadis pour les différents plans ;
- GéoSlope 2012 pour vérifier la stabilité des pentes des talus ;
- ArcGis 10.5 pour délimiter le bassin versant et éditer les différentes cartes ;
- CYPE 2014 pour la vérification du plan de ferrailage ;

- le pack office pour les calculs et la rédaction du rapport ;
- l'image satellitaire (Model Numérique de Terrain) concernant la zone du projet a aussi été utilisée pour la délimitation du bassin versant.

II.2. METHODES

II.2.1. Recherche bibliographique et collecte de données

La recherche bibliographique a consisté à consulter plusieurs documents tels que des anciens rapports d'études de barrages, des livres, des cartes, des supports de cours et des sites sur internet en lien avec la conception et le dimensionnement des barrages.

La collecte des données, quant à elle, a consisté à rentrer en possession par l'intermédiaire de la structure d'accueil, des données pluviométriques et des levés topographiques auprès du bureau mandaté pour l'étude.

II.2.2. Etudes topographiques

Les données topographiques sont composées d'images satellitaires (Digital Elevation Model) de la zone d'étude, téléchargées à partir du site web (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) de l'USGS et de levés topographiques de la cuvette du barrage. Les levés topographiques nous ont été fournis par la structure d'accueil (DGIH) qui les a reçus du bureau d'études attributaire du marché. Le modèle numérique de terrain (MNT) de la zone a servi pour la délimitation du bassin versant, le calcul de ses paramètres physiographiques et morphométriques à l'aide de **ArcGIS**. Ces données ont servi à l'étude de l'emplacement de la digue, la cuvette ainsi que le calage des côtes des ouvrages.

II.2.3. Etudes géotechniques

Les investigations géotechniques ont été menées par le Bureau d'Etudes et de Contrôle des Ouvrages Hydro-Agricoles et Annexes (BECOHA). Ces investigations ont fourni les informations géotechniques sur les matériaux de construction, la cuvette et le sol de fondation de la digue. Ces données ont été essentielles pour la conception et le dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes.

II.2.4. Etudes socio-économiques

Les études socio-économiques ont été réalisées par le bureau d'études et ont consisté en des investigations pour :

- ressortir les caractéristiques historiques, sociales, démographiques, et ethniques des communautés de la zone d'étude ;
- identifier les zones d'activités et les personnes physiques ou morales menant des activités, notamment agricoles à l'intérieur de la zone d'étude ;
- identifier les modalités d'accès et de gestion des terres et les conflits potentiels liés à leurs usage et exploitation ;
- recenser les infrastructures socio-économiques fonctionnelles et non fonctionnelles et saisir les priorités de développement des communautés.
- décrire les organisations sociales et institutionnelles de la localité et recenser les structures de gestion villageoise capables d'assurer certaines activités dans le cadre de la mise en œuvre du plan simple de gestion.

II.2.5. Etude hydrologique

II.2.5.1. Détermination des caractéristiques physiques du bassin versant

Un bassin versant se définit comme étant l'ensemble de la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents à l'amont d'une section de ce cours d'eau. Toutes les gouttes d'eau tombant à l'intérieur de cette surface convergent vers un point unique appelé exutoire. Pour toute construction d'un barrage, ce point stratégique est le plus souvent sollicité.

La limite du bassin versant ainsi que ses caractéristiques morphométriques, comme sa surface et son périmètre, ont été déterminées grâce à l'utilisation des outils du système d'information géographique lesquels outils ont utilisé des modèles numériques de terrain, de résolution 30 m sur 30 m téléchargés sur le site de EARTHEXPLORER (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

La classe du bassin versant a été déterminée grâce à la classification de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) suivant les quatre classes définies par J. RODIER (FAO, 1998).

Tableau 1: Classes de bassin versant en fonction de la taille

Classe de bassin versant	Taille du bassin versant	Classe de superficie (S) du bassin versant
Classe 1	Très petits bassins versants	$S < \text{quelques ha}$
Classe 2	Petits bassins versants	$2 < S < 40 \text{ km}^2$
Classe 3	Bassins versants moyens	$40 < S < 1000 \text{ km}^2$
Classe 4	Grands bassins versants	$S > 1000 \text{ km}^2$

- **Indice de compacité**

Encore appelé coefficient de forme, cet indice se calcule en faisant le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie. Il influence le temps de concentration des eaux.

Son expression est la suivante :

$$I_{\text{comp}} = 0,282 * P * S^{-0,5}$$

Avec P : le périmètre du bassin en km ;

S : la superficie du bassin en km^2 .

Si I_{comp} est proche de 1, le bassin a une forme circulaire ; il est allongé si $I_{\text{comp}} \gg 1$.

- **Rectangle équivalent**

La notion de rectangle équivalent permet de comparer facilement des bassins versants entre eux. Le rectangle équivalent est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin versant étudié.

L'expression de sa longueur est la suivante :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4} \text{ où :}$$

- ✓ P : le périmètre du bassin versant [km] ;
- ✓ S : la surface du bassin versant [km^2] ;
- ✓ L : la longueur du rectangle équivalent [km].

- **Pente longitudinale**

La pente longitudinale du bassin versant a été calculée suivant la formule simplifiée de GRESILLON (ZIZIEN 2020) :

$$I(BV) = \frac{26}{\sqrt{S}}, \text{ où}$$

I(BV) : Pente longitudinale du bassin versant [m/km] et S[km²]:Superficie du bassin versant

L'ORSTOM (actuellement IRD : Institut de Recherche pour le Développement) a défini 6 classes de bassins versants en fonction de la pente longitudinale moyenne :

Tableau 2 : Classe du bassin versant en fonction de la pente

Classe	Description
R1	Bassins de pentes extrêmement faibles inférieures à 2 m/km (2‰).
R2	Bassins de pentes faibles, pentes inférieures à 5 m/km (5‰)). Ce sont des bassins de plaine
R3	Bassins de pentes modérées, pentes comprises entre 0.5% et 1%. Ce sont des terrains intermédiaires entre la plaine et les zones à ondulation de terrain
R4	Bassins de pentes assez fortes : pentes longitudinales comprises entre 1% et 2%, pentes transversales supérieures à 2%. Ce sont des zones d'ondulation de terrain
R5	Bassins de pentes fortes : pentes longitudinales comprises entre 2 et 5%, pentes transversales entre 8 et 20%. Ce sont des régions de collines
R6	Bassins de pentes très fortes : pentes longitudinales supérieures à 5%, pentes transversales supérieures à 20%. Ce sont des régions de montagnes

Source : Maîtrise des crues dans les bas-fonds, petits et micro barrages en Afrique de l'Ouest. (P. 354 et 355).

La longueur du rectangle équivalent étant généralement proche de celle du plus long cours d'eau, Ig reste voisin de la pente longitudinale. Nous allons donc utiliser Ig pour la classification du bassin versant.

✓ Indice global

L'indice global de pente est un paramètre caractérisant le relief du bassin versant. Il est un facteur des débits de crues car influant sur les vitesses de ruissellement. Son expression est :

$$IG = \frac{H5\% - H95\%}{L}$$

Les altitudes (H5%) et (H95%) de la surface du bassin ont été déterminées à partir de la courbe hypsométrique qui est une répartition de la surface du bassin versant en fonction des altitudes.

Si la valeur de Ig est très faible (Ig<3), on reprend le calcul en divisant par la largeur du rectangle équivalent. Ce résultat ainsi obtenu ne sera pas corrigé avec la pente transversale.

✓ Pente transversale

C'est une pente calculée à l'aide d'au moins six (06) pentes de sections différentes sur les versants. La moyenne de ces pentes est appelée pente transversale (It) du bassin versant.

Lorsque les pentes transversales sont peu différentes de I_g (différence de moins de 20%), ce dernier représente assez bien la pente du bassin, si non, on calcule un indice de pente global corrigé I_{gcor} défini par la formule :

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

Où n est un coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent avec

- $n = 2$ pour $L < 5$ km
- $n = 3$ pour $5\text{km} < L < 25\text{km}$
- $n = 4$ pour $25\text{km} < L < 50\text{km}$
- $n = 5$ pour $50 \text{ km} < L$

✓ **Densité de drainage D_d**

La densité de drainage (D_d) est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Son expression est :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S}, \text{ où}$$

- D_d : densité de drainage [km/km^2] ;
- L_i : longueur du cours d'eau élémentaire [km] ;
- S : la surface du bassin versant [km^2].

✓ **Dénivelée spécifique D_s**

La dénivelée spécifique est égale au produit de l'indice global des pentes I_{gcor} (I_g corrigé) et la racine carrée de la superficie (S) du bassin versant. Son expression est :

$$D_s = I_{gcor} * \sqrt{S}, \text{ où}$$

- D_s : dénivelé spécifique [m] ;
- I_{gcor} : Indice global de pente corrigé [m/km].

On distingue trois types de relief en fonction de la valeur de la dénivelée spécifique :

- Relief faible pour $D_s < 50$ m ;
- Relief modéré si $50 \text{ m} < D_s < 100$ m ;
- Relief fort pour $100 \text{ m} < D_s$.

✓ **Infiltrabilité des sols**

L'infiltrabilité est l'aptitude d'un terrain à l'infiltration. Le couvert végétal, la surface du sol ainsi que les organisations pédologiques superficielles sont des éléments qui influencent l'infiltrabilité. La classification qualitative adoptée par J. RODIER comprend six classes. L'indice placé entre parenthèses correspond à l'ancienne nomenclature utilisée par J RODIER et C.AUVREY (FAO, 1998):

- P1 (TI) : bassins rigoureusement imperméables, entièrement rocheux ou argileux ;
- (PI) : bassin naturel particulièrement imperméable ;
- P2 (I) : bassins assez imperméables ou bassins homogènes presque imperméables ;
- P3 (RI) : bassins relativement imperméables ou bassins homogènes assez peu perméables ;
- P4 (P) : bassins assez perméables ; sols sableux sans pellicule ou avec un couvert végétal de graminées ;
- P5 (TP) : bassins très perméables, sables éoliens, sables sans pellicules et sans végétation.

II.2.5.2. Prédétermination des crues

Le cours d'eau sur lequel est projetée la réalisation du barrage n'est pas suivi hydrologiquement, c'est-à-dire qu'il ne dispose pas de dispositif de mesure de débit ou de suivi de la qualité de l'eau. Pour ce faire, la détermination des débits de crue décennale se fera par la méthode déterministe de l'ORSTOM et celle du CIEH. Ensuite, la méthode de Gradex sera appliquée pour la détermination du débit centennal.

Nous disposons pour ce faire, des pluies maximales journalières et des pluies annuelles de la station pluviométrique de Koudougou pour une période de quarante ans (1977-2016).

Une analyse fréquentielle a été faite avec Hyfran avec un niveau de confiance de 95%.

Ces données ont été ajustées à des lois de distribution couramment utilisées. Il s'agit de la loi de GAUSS pour les pluies moyennes annuelles et la loi de GUMBEL pour les pluies maximales journalières. Parlant de la fréquence expérimentale au non dépassement associée aux éléments de chaque échantillon, la distribution de HAZEN a été utilisée pour la loi de GAUSS et la distribution de WEIBULL pour la loi de GUMBEL (Bernard CHUZEVILLE, 1990).

Les fonctions de répartition et les paramètres des lois utilisées sont de la forme :

Loi	Fonction de répartition	Paramètre de la loi
-----	-------------------------	---------------------

GAUSS	$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du ;$ $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$	✓ u : variable réduite ✓ $\bar{x}$ et σ : respectivement la moyenne et l'écart type de la série ✓ x_0 : Paramètre de position
GUMBEL	$F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}}$	✓ a : paramètre d'échelle

• Méthode ORSTOM de calcul du débit décennal de crue

Cette méthode s'applique à des bassins de superficies variant entre quelques hectares à 1500 km² se situant soit dans la zone sahélienne ou dans la zone tropicale sèche (FAO, 1998).

Selon cette méthode le débit de pointe correspondant au ruissellement décennal de la crue décennale est calculé suivant l'équation :

$$Q_{r10} = \frac{A \cdot P_{10} \cdot K_{r10} \cdot \alpha \cdot S}{T_{b10}}, \text{ où :}$$

- Q_{r10} : le débit de ruissellement décennal (m³/s) ;
- **K_{r10}** Coefficient de ruissellement pour une crue décennale ;
- P_{10} : pluie journalière maximale décennale (mm) ;
- T_{b10} : temps de base de la crue décennale (mn) ;
- A : coefficient d'abattement de VILLAUME ;
- α = Coefficient de pointe pris égal à 2,6.

La zone d'étude se situe dans la zone tropicale sèche. Selon sa perméabilité, elle est relativement imperméable (RI) et de classe (P2). Une valeur de m est de 1,03 pour un petit bassin versant imperméable et 1,05 pour celui perméable. Une moyenne de 1,045 est considérée pour le bassin versant de Sigoguin.

La valeur finale du débit de pointe est donnée suivant la relation :

$$Q_{10} = m Q_{r10}, \text{ où}$$

- m: coefficient de majoration égal à 1,045, qui est fonction de classe d'infiltrabilité du bassin versant et de la zone climatique ;
- Q_{r10} : le débit de ruissellement décennal (m³/s).

➤ Coefficient d'abattement

C'est un coefficient de réduction qui permet d'obtenir la précipitation moyenne décennale sur le bassin versant P_{m10} , grâce au produit de ce coefficient par la hauteur de pluie ponctuelle à une hauteur moyenne calculée sur une certaine superficie située dans une zone pluviométrique

homogène et pour une fréquence donnée. Il est déterminé par l'équation simplifiée de Villaume en 1974(FAO, 1995) :

$$A = 1 - \left(\frac{162 - 0,042 * Pan}{1000} \right) \log S$$

- A: coefficient d'abattement
- Pan: la pluie moyenne annuelle du bassin versant
- S : la surface du bassin versant

➤ Temps de base (Tb)

Le temps de base est le temps compris entre le début et la fin du ruissellement rapide. Le bassin versant se trouve dans la région tropicale sèche où le temps de base se calcule suivant la relation :

$$Tb_{10} = a * S^{0,36} + b.$$

Les coefficients a et b sont des paramètres qui sont fonction de l'indice global pente, de la perméabilité et de la zone d'appartenance climatique du bassin versant.

Nous avons passé par interpolation avec des valeurs de IGcor en vue de déterminer les coefficients a et b nécessaires pour le calcul du temps de base.

➤ Temps de montée

Le temps de montée Tm est le temps qui s'écoule entre le début du ruissellement et le maximum de la crue. Dans la zone tropicale sèche, en toute première approximation et en l'absence de particularités physiographiques, on peut considérer que le temps de montée représente le tiers du temps de base :

$$Tm_{10} = 0,33 * Tb_{10}$$

➤ Le coefficient de ruissellement décennal (Kr10)

Le coefficient de ruissellement est lié à un événement pluie-débit. C'est le rapport du volume de ruissellement rapide Vr au volume précipité Vp. Il est généralement exprimé en pourcentage. Le coefficient de ruissellement décennal est celui engendré par une précipitation décennale ponctuelle. Il a été déterminé par deux méthodes

➤ Estimation du coefficient de ruissellement de la crue décennale

Les valeurs de Kr70 et Kr100 (FAO *et al*, 1996) sont déterminées à l'aide des équations suivantes :

$$Kr70 \text{ ou } Kr100 = \frac{a}{(S + b)} + c$$

On estime la valeur du coefficient de ruissellement Kr10 par interpolation linéaire entre celles de Kr70 et Kr100.

➤ Estimation de Kr10 par la méthode de CIEH

L'évolution de Kr10 (%) en fonction de la géologie et de la pluie annuelle est déterminée par une méthode dite méthode de PUCH et CHABI-GONNI en 1983. Cette évolution de Kr10 est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 3: Evolution du coefficient Kr10

Catégorie	Formulation	r	Nombre
Granite + gneiss	$Kr10 = 2300 * Pan^{-0,67}$	0,661	72
Grès	$Kr10 = 300 * Pan^{-0,375}$	0,361	18
Sable	$Kr10 = 2 * 10^7 * Pan^{-2,2}$	0,602	7
Argiles	$Kr10 = 300 * Pan^{-0,3}$	0,376	12
Schistes	$Kr10 = 370 * Pan^{-0,375}$	0,370	24

Source : crues et apports ; manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. Bulletin de la FAO CEMAGREF- CIEH : 1996, page 69.

• Méthode CIEH de calcul du débit décennal de crue

Proposée par C.PUECH et D.CHABI-GONNI en 1983, elle a été établie sur la base d'un échantillon de 162 bassins versants répartis en Afrique francophone. Elle peut être utilisée sur des bassins allant jusqu'à 1000 km², relevant de la zone tropicale sèche ou sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. C'est une méthode statistique avec plusieurs variantes. Elle est donnée par la relation :

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

- ✓ S [Km²] : la surface du bassin versant ;
- ✓ Pan [mm] : la pluie annuelle moyenne ;
- ✓ Ig [m/km] : l'indice global de pente ;
- ✓ Kr10 [%] : le coefficient de ruissellement décennal ;
- ✓ Dd [km/km²] : la densité de drainage ;
- ✓ a, s, p, i, k, d sont des coefficients d'ajustement.

- **Passage à la crue centennale par la méthode du GRADEX**

Pour le dimensionnement des ouvrages du barrage, la crue centennale comme crue de projet a été utilisée. Cela pour mettre l'accent d'abord sur la sécurité de l'ouvrage, ensuite sur la protection des populations et des investissements à l'aval en cas d'inondation. La méthode de GRADEX a été utilisée pour calculer le coefficient C en vue de déterminer la crue centennale Q_{100} tel que : $Q_{100} = C * Q_{10}$.

L'approche de la crue centennale suppose que toute précipitation supérieure au débit décennale engendre un débit supplémentaire, qui est égal au supplément de pluie par rapport à la pluie décennale. Ce supplément de débit se traduit par le coefficient multiplicateur C supérieur à 1. Le coefficient C est calculé selon la formule de J.GRESILLON :

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} * \frac{(Tb_{10}/24)^{0,12}}{Kr_{10}}$$

- ✓ Q_{100} : Crue centennale ;
- ✓ Q_{10} : Crue décennale ;
- ✓ C : coefficient du GRADEX ;
- ✓ P_{100} : pluie centennale ;
- ✓ P_{10} : pluie décennale ;
- ✓ Kr_{10} : coefficient de ruissellement décennal
- ✓ Tb_{10} : temps de base décennale.

- **Hydrogramme de crue**

L'hydrogramme de crue est un graphique de variation du débit en fonction du temps durant une crue. Il est constitué de trois tronçons linéaires construits avec les temps de base et de montée. La partie de la courbe où la pente connaît un changement correspond à un débit Q_d dit débit de discontinuité. Sa valeur est donnée par la relation :

$$Q_d = \frac{2 * Q_{max} * (Tb_{10} - \alpha_{10} * Tm_{10})}{\alpha_{10} * (Tb_{10} - 2 * Tm_{10})}, \text{ où}$$

- ✓ Q_{max} : le débit de projet en m^3/s ;
- ✓ Tb : le temps de base décennal en min ;
- ✓ Tm_{10} : le temps de montée décennal en min ;
- ✓ α_{10} : le coefficient de pointe.

- **Crue de rupture du barrage**

C'est une crue que doit supporter le barrage dans les conditions exceptionnelles de pluviométrie sans emporter le barrage ni subir des dommages lors de son fonctionnement. Selon le Comité

International des Grands Barrages, la crue de rupture est donnée suivant la formule :

$$Q_r = 2 * l * (a + 0,2)^{1,5} + 0,15 * L, \text{ où}$$

- ✓ Q_r : la crue de rupture du barrage en m^3/s ;
- ✓ L : la longueur de la digue sans déversoir (m) ;
- ✓ l : la longueur du déversoir (m) ;
- ✓ a : la revanche totale (m).

II.2.6. Etude de la cuvette

II.2.6.1. Etude des apports et des pertes

II.2.6.1.1. Evaluation des apports liquides

Les apports liquides sont toute quantité d'eau susceptible d'arriver à l'exutoire du barrage pendant une période donnée. Pour éviter un surdimensionnement inutile et coûteux, il est important de connaître les apports annuels qui vont permettre de dimensionner des réservoirs adaptés aux caractéristiques hydrologiques du bassin versant, selon l'équation suivante :

$$V_e = K_e * P * S ; K_e = \frac{L_e}{P}, \text{ où}$$

- P : la pluviométrie de la période considérée en mm ;
- S : la superficie du bassin versant en km^2 .
- L_e : lame d'eau ruisselée au cours de la période ;
- V_e : volume d'eau à l'exutoire ;
- K_e : le coefficient d'écoulement en % obtenu par les abaques de RODIER.

La lame ruisselée a été estimée par la méthode du déficit d'écoulement à travers la formule de COUTAGNE puis la méthode de Rodier.

➤ La méthode de RODIER

Elle est présentée dans « Crues et Apports : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche » Rodier (FAO, 1998). C'est une méthode qui permet de déterminer les coefficients d'écoulement du bassin versant étudié en le comparant à un bassin type déjà étudié par Rodier, à travers différents paramètres tels que : le type de climat, la superficie du bassin versant, la dénivelée spécifique, la densité de drainage et la pluie moyenne annuelle. En fonction de la zone climatique et du bassin type, des courbes de distribution statistique des lames écoulées sont construites pour des hauteurs pluviométriques annuelles de fréquence médiane variant entre 300 et 750 mm en fonction des fréquences au dépassement.

Le principe de la méthode consiste d'abord à lire sur la courbe du bassin type les lames d'eau

correspondant à la fréquence au dépassement. Ensuite on calcule les coefficients d'écoulement k_e et le volume d'écoulement pour les périodes de retour quinquennal et décennal (sèche et humide) obtenues à partir d'un ajustement de GAUSS des données pluviométriques. Enfin, le calcul de la lame écoulée (L_e) rapportée à la pluie médiane P_{med} , se fait par interpolation logarithmique (Log_{10}) suivant le système d'équations :

$$\begin{cases} \text{Log}(L_{e_{med}}) = \text{Log}(L_{e_{750}}) + [\text{Log}(L_{e_{1000}}) - \text{Log}(L_{e_{750}})] * \frac{P_{med} - 750}{1000 - 750} \\ L_{e_{med}} = 10^{\text{Log}(L_{e_{med}})} \end{cases}$$

Le bassin versant type correspondant est celui de Ouagadougou dont les caractéristiques sont :

- ✓ type de climat : tropicale sèche; pluviométrie annuelle : 850mm ;
- ✓ superficie du bassin : 294 km² ;
- ✓ dénivelée spécifique (D_s) : 52 m ;
- ✓ densité de drainage (D_d) : 0,56 km/km² ;

➤ La méthode de COUTAGNE

Cette méthode consiste à calculer le déficit d'écoulement en utilisant un paramètre λ , dite paramètre de COUTANGNE : $\lambda = \frac{1}{0,8+0,14*T}$;

Si $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$ alors $D = P - \lambda P^2$; si $P < \frac{1}{8\lambda}$ alors $P = D$; si $P > \frac{1}{2\lambda}$ alors $D = 0,20 + 0,035T$

Où : P : Pluviométrie annuelle ; D : Déficit d'écoulement, T : température moyenne annuelle (°C).

II.2.6.1.2. Evaluation des apports solides et cartographie du risque d'érosion hydrique

❖ Cartographie du risque d'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant

Le contrôle de la sédimentation est basé sur l'identification des zones sources de sédiments, la connaissance des processus de déplacement de l'eau et des sédiments, et la compréhension des effets de ces processus à l'environnement physique et des facteurs socio-économiques.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour la prédiction de l'érosion des sols dans les bassins versants contribuant à l'ensablement des zones à développer en périmètres irrigués.

Parmi ces outils, le Modèle USLE (Wischmeier, 1978) qui, par la suite fut amélioré et revisité par Renard (Renard, 1997) pour donner le modèle RUSLE.

Cette méthode semble assez bien s'appliquer à des sols riches en kaolinite, des sols bruns

lessivés tempérés, des sols ferralitiques et ferrugineux tropicaux.

Modèle RUSLE

La méthode la plus utilisée est celle de l'équation universelle des pertes en terre (USLE) développée par Wischmeier (Wischmeier, 1978). Cette méthode qui s'applique aux parcelles cultivées dans des exploitations agricoles a été ensuite améliorée et s'applique aux bassins versants où l'on assiste à une variation de la longueur et de l'intensité de la pente sur les versants. Ainsi, l'USLE a été révisée en RUSLE pour être applicable aux bassins versants.

$A = R * K * Ls * C * P$, où :

- A : Quantité de sol érodé en tonne/ha.an
- R : Erosivité de la pluie en MJ.mm/ha.hr.an ;
- K : Erodibilité du sol en Tonne.hr/ha.MJ.mm
- Ls : Facteur topographique (Longueur et intensité de la pente)
- C : Facteur de l'occupation du sol
- P : Facteur des pratiques antiérosives

Description des différents termes du Modèle RUSLE

➤ **Le facteur R : indice d'érosivité des pluies**

Le facteur R est un indice d'érosivité des pluies. Il caractérise le pouvoir érosif par l'intensité de la pluie. Plus la pluie est intense et plus elle dure longtemps, plus elle endommage le sol. Pour l'Afrique, ROOSE établit une équation entre la pluie annuelle P et le facteur R(ROOSE, 1997) par la relation : $R=0,5P$; avec P, les précipitations moyennes annuelles.

➤ **Le facteur d'érodabilité K : facteur de sensibilité d'un sol à l'érosion**

L'érodabilité du sol K détermine la résistance des différents types de sols à l'érosion. Le facteur K est déterminé en fonction de certaines caractéristiques des sols :

- La texture ;
- La présence de la matière organique ;
- La perméabilité et
- La profondeur.

Il est calculé selon la formule suivante (El Hafid, 2018):

$$k = [2,1*10^{(-4)}*(12 - MO) M^{(1.14)} + 3.25*(S-2) + 2,5*(P-3)]/100$$

- K : le facteur d'érodabilité ;
- M : (% sable fin + % limon) (100 - % argiles) ;

- MO : le pourcentage de matière organique ;
- S : le code de structure ;
- P : la classe des perméabilités.

Tableau 4: les valeurs du facteur K par type des sols

Type de sol	Facteur K
Sol forestier Rouge	0,45
Sol forestier Brun	0,23
Sol châtain érodé	0,50
Sol rouge encroûté	0,34

➤ Le facteur LS

Le facteur LS est un indice topographique qui représente la morphologie du terrain. Il est calculé à partir du Modèle Numérique du Terrain (MNT) par superposition des cartes des longueurs des pentes et les gradients de pentes. La pente a une influence importante sur le processus de l'érosion hydrique. Elle aggrave l'effet du ruissellement des eaux de pluie.

➤ Le facteur C

Le facteur C est utilisé pour déterminer la densité du couvert végétal, l'efficacité relative à des principaux systèmes cultureux et la gestion des sols.

Tableau 5: les valeurs du facteur C par type des sols

Types d'occupation du sol	Facteur C
Forêt	0,08
Céréaliculture	0,28
Arboriculture	0,25
Terrains Nus	0,75

➤ Le facteur P : pratiques anti-érosives

Le facteur P représente la protection du sol et les pratiques antiérosives réduisant la vitesse de ruissellement et diminuant ainsi le risque de l'érosion hydrique. Il varie en fonction des aménagements effectués.

La détermination des paramètres du modèle RUSLE est illustrée à travers la figure 3.

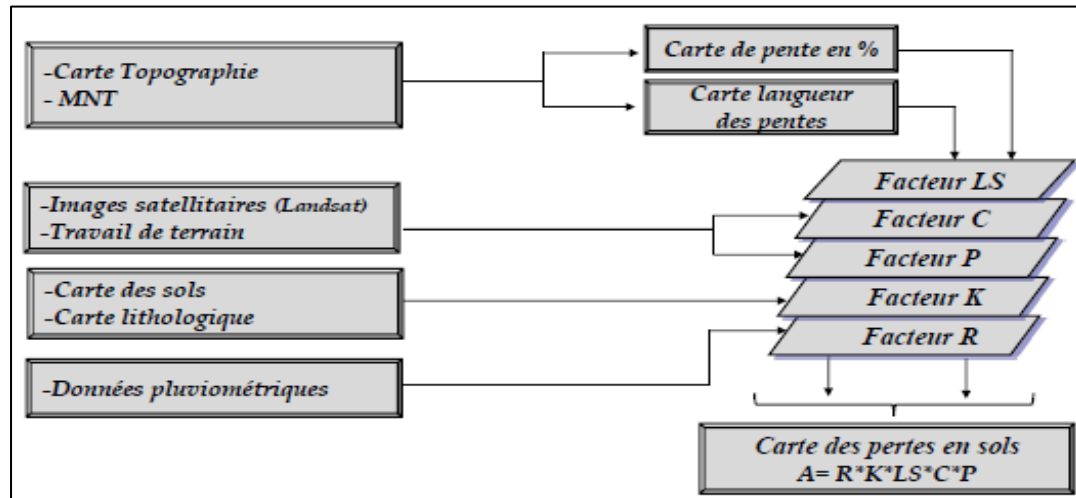


Figure 3: les étapes de la méthode RUSLE(El Hafid, 2018)

❖ Evaluation des apports solides

Le ruissellement des eaux sur un bassin versant entraîne des débits solides tout au long de son parcours. Ce transport de débits solides est la cause de l'envasement et de l'ensablement des barrages. Il est donc nécessaire de les évaluer.

Le calcul des apports solides est donné par : $V = D * S$

Avec :

- V : volume annuel des apports en sédiments ;
- D : dégradation spécifique annuelle ($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{an}$) ;
- S: superficie du bassin versant (km^2).

Des formules empiriques permettent d'estimer la dégradation spécifique au nombre desquelles celles de GRESILLON, GOTTSCHALK et KARAMBIRI:

- Formule de L.C.GOTTSCHALK : $D1 = 260 * S^{-0,1}$
- Formule de J.M.GRISILLON : $D2 = 700 * \left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2} * S^{-0,1}$
- Formule de H.KARAMBIRI : $137 * \left(\frac{P}{700}\right)^{-2,02} * S^{-0,05} * (0,25 + 1,13 * (h + r))^{1,15}$

Avec

P : pluie moyenne annuelle (mm) ;

- r : paramètre morphologique;
- $r \in [0,7 - 1]$: Relief très accidenté, accusé;
- $r \in [0,4 - 0,7]$: Relief moyennement accidenté, accusé;
- $r \in [0,1 - 0,4]$: Relief peu accidenté, accusé;
- $r \in [0 - 0,1]$: Relief relativement plat et monotone.

h : paramètre anthropologique:

- $h \in [0,7 - 1]$: bassin versant comportant des grandes villes, de gros villages ou situé à proximité de ceux-ci. Probabilité d'extension rapide de villes ou de villages sur le bassin;
- $h \in [0,4 - 0,7]$: bassin versant comportant des petites villes, des villages moyens ou situé à proximité de ceux-ci. Probabilité d'extension moyenne de villes ou de villages sur le bassin;
- $h \in [0,1 - 0,4]$: bassin versant comportant des petits villages ou situé à proximité de ceux-ci;

$h \in [0 - 0,1]$: bassin versant relativement inhabité ou éloigné de toute ville ou village.

La valeur trouvée par la méthode de KARAMBIRI est considérée pour la suite des calculs du fait qu'elle s'appuie sur des expériences réalisées sur des retenues du BURKINA.

➤ Pertes d'eau par évaporation

La série de données sur l'évaporation est celle enregistrée par la station météorologique de Ouagadougou. Une équation dite de conversion proposée par Bernard POUYAUD à l'issue de ses travaux au Burkina Faso nous a permis de passer de l'évaporation Bac A à celle d'un plan d'eau libre. L'auteur a en effet fait des études dans l'Afrique sahélienne et ses champs d'expérimentation pour le Burkina Faso sont le lac Bam et la mare d'Oursi. Il aboutit à la relation suivante(KARAMBIRI & GUEYE, 2007) :

$$E_{lac} \left(\frac{mm}{j} \right) = 1,664 * E_{bac}^{0,602} \text{ avec}$$

- Elac : évaporation du plan d'eau (mm/j)
- Ebac A : évaporation au bac A (mm/j)

➤ Pertes d'eau par infiltration

Les pertes d'eau par infiltration au niveau de la cuvette du barrage sont souvent difficiles à quantifier, mais elles peuvent être économiquement acceptables si elles ne mettent pas en danger l'ouvrage. L'infiltration moyenne au niveau des cuvettes des barrages, pour le cas du Burkina Faso, est comprise entre 1 et 3 mm/j (KARAMBIRI & GUEYE, 2007). Dans le cadre de cette étude la valeur moyenne de 1,5 mm/jour a été considérée, mais cette valeur de l'infiltration diminuera avec l'âge du barrage suite au colmatage du fond de la cuvette par les particules fines.

II.2.6.2. Estimation des besoins en eau

➤ Besoins humains

Selon les résultats de l'Inventaire des Ouvrages Hydrauliques (INHO, 2019), le village de Sigoguin est approvisionné par des eaux souterraines en quantité suffisante (13 PMH et 2 puits modernes). Les besoins humains de l'eau du barrage se résument donc aux prélèvements pour des activités domestiques (lessive, confection de briques etc.). Une hypothèse de 15l/jr/personne est considérée comme prélèvement. La population à l'horizon du projet (2050) a été estimée à 3185 personnes par projection à partir de la population actuelle (2 247 habitants) avec un taux d'accroissement de (1,17%).

➤ Besoin en eau des cultures

Pour les usages agricoles, trois principales cultures de contre-saison ont été proposées, selon les conclusions de l'étude socio-économique. Il s'agit de la tomate, le haricot vert et l'oignon. La quantité d'eau apportée par l'irrigation doit permettre de compenser le besoin en eau maximum de la plante ou besoin de pointe. Ces besoins en eau ont été estimés avec la culture la plus contraignante qui est l'oignon dont le cycle est de 150 jours.

Une efficacité de 60% a été considérée afin de garantir l'eau sur l'ensemble de la parcelle et d'estimer la demande maximale de la parcelle. Cette superficie est supposée être de cinq (5) hectares pour les vingt premières années mais connaîtra une baisse suite à la diminution de la capacité du barrage que causera l'envasement. Les besoins ont été estimés à travers les formules suivantes (BOUBE, 2014) :

$$ETM = Kc * ET0$$

$$Bn = ETM - Pe$$

$$BB = Bn/E$$

$$Pe = 0.6 * P_{mois} - 10, \text{ pour } P_{mois} \leq 70 \text{ mm}$$

$$Pe = 0.8 * P_{mois} - 24, \text{ pour } P_{mois} > 70 \text{ mm}$$

Où :

- BB : Besoins Brute ;
- Bn : Besoins Net ;
- ETM : Evapotranspiration Maximale ;
- Pe : Pluie efficace ;

- Kc : coefficient cultural ;
- ET0 : Evapotranspiration de référence ;
- Pmois : pluviométrie du mois ;
- E : efficience du réseau d'irrigation.

➤ **Besoins en eau du cheptel**

Par manque d'informations sur la population animale, l'estimation des besoins en eau du cheptel a été faite en considérant qu'un animal ne peut s'abreuver à une réserve que s'il pâture à moins de 10 km (technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale). Selon cette hypothèse un nombre 6000 têtes de bétail au maximum peuvent s'abreuver à un point d'eau dans un rayon de 10 km. Dans ces conditions, la densité du bétail est de 1 bête pour 5 ha. Le barrage de Sigoguin étant situé à proximité de celui de Salbisgo (2km) et de celui de Palogo (6km), le cheptel considéré est environ 1570 têtes en considérant un rayon de 5 km. Le calcul des besoins en eau s'est fait par une hypothèse de 40 l/jour pour être en sécurité.

II.2.7. Dimensionnement de la digue

✓ **Choix du site et du type de barrage**

Il est nécessaire de prendre en considération certains paramètres qui sont primordiales pour le choix du site et du type de barrage. Parmi ces critères, la morphologie de la zone joue un rôle important dans le choix du site et du type de barrage à implanter (MOUSSA, 2010). L'emplacement idéal et le plus économique est celui d'un site étroit précédé à l'amont par un élargissement de la zone car ce type de zones convient mieux à l'aménagement d'un barrage en remblai. D'autre part, la nature, la résistance, la fracturation et la perméabilité des formations rencontrées dans le bassin versant constituent un ensemble de facteurs orientant la détermination du type de barrage à implanter. Tenant compte des conditions économiques et de la disponibilité des matériaux plusieurs types de barrages peuvent être choisis :

- Type 1 : barrage homogène (argile) ;
- Type 2 : barrage à zones avec noyau central en argile ;
- Type 3 : barrage en enrochement avec masque amont.

Nous optons pour le barrage homogène (argile), car les conditions topographiques, géologiques, géographiques et géotechniques, permettent d'envisager ce type de barrage en matériaux

locaux.

✓ **Tranchée d'encrage**

Pour assurer l'étanchéité de la fondation du barrage, la tranchée d'ancrage du barrage de Sigouin sera remblayée en matériau étanche, afin de lutter contre les lignes préférentielles d'infiltration le long de la fondation. En se référant donc aux résultats des investigations géotechniques faites par le Bureau d'Etudes sur l'axe de la digue, on note que la roche saine se trouve à des profondeurs variables entre les deux rives et le lit mineur. Notre terrain étant hétérogène, le calcul de la tranchée s'est fait suivant la règle de LANE. Ainsi donc les coefficients de LANE en fonction de la nature du sol sont les suivants :

- 2,5 en rive gauche et en rive droite ;
- 3 sur le lit mineur et au milieu de la digue.

En fonction de ces informations la profondeur minimale est calculée à travers la formule suivante :

$$P_{min} = \frac{CH - \frac{L_h}{3} - L_v}{2} \quad P_{min} : \text{profondeur minimale d'ancrage (m)}$$

C : coefficient de LANE ;

- L_h : longueur des cheminements horizontaux (m) ;
- L_v : longueur des cheminements verticaux (m) ;
- H : hauteur d'eau au niveau de la digue (m).

Enfin pour faciliter la mise en œuvre, la tranchée d'ancrage sera de forme trapézoïdale, avec comme pente de talus 1H/3V.

✓ **Calage du plan d'eau normal (PEN)**

Caler un Plan d'Eau Normal consiste à se fixer une côte permettant de définir la capacité de stockage de la retenue. Le calage se fait en tenant compte des besoins en eau, des différentes pertes (liquides et solides) et en n'inondant pas les quartiers environnants tout en optimisant l'exploitation de l'eau du barrage ; dit autrement, il est fait de façon à stocker le maximum d'eau afin de combler les attentes de la population.

✓ **Courbe d'exploitation**

C'est une courbe qui permet de vérifier l'adéquation de la capacité de la retenue avec les besoins (pastoral, domestique et agricole) et les pertes (infiltration, évaporation) en eau, en fonction des périodes. Elle est établie à partir de la courbe hauteur volume de la retenue. Elle permet donc

d'optimiser la gestion de la retenue et le choix des spéculations culturelles.

✓ **Calage des plus hautes eaux (PHE)**

Le niveau des plus hautes eaux PHE est calculé par un ajout au niveau de la retenue, la lame d'eau au-dessus du déversoir. Le calcul de cette lame d'eau est donné par l'expression suivante :

$$PHE = PEN + Charge$$

✓ **Lame d'eau déversant**

C'est une hauteur d'eau au-dessus du déversoir permettant de contrôler le déversement. Dans le cadre de cette étude, elle a été fixée prise égale à 0,7 m (MAURICEDURAND & ROYET, 1998).

✓ **Hauteur de la digue**

La hauteur de la digue (H_d) est déterminée par addition de la hauteur au plan d'eau normal (PEN) de la retenue (H_r), de la charge au-dessus du déversoir h et de la revanche libre (R). Pour un petit barrage ($H_T < 15 \text{ m}$) muni d'un évacuateur en béton, la hauteur de la lame d'eau maximale n'a pas vraiment de limite si la réalisation est soignée et le profil étudié (MAURICEDURAND & ROYET, 1998). Notre lame d'eau déversante sera prise égale à $h=0,70 \text{ m}$. La hauteur de la digue est donnée par la formule suivante :

$$H_d = H_r + h + R.$$

✓ **Revanche libre**

La revanche libre (R) est une tranche comprise entre le PHE et la crête du barrage. Cette hauteur permet d'éviter la submersion du remblai par les vagues. Elle représente donc la marge de sécurité lors du passage de la crue du projet. Son dimensionnement dans notre étude a tenu compte de la hauteur potentielle des vagues qui est fonction de la vitesse du vent et de la longueur du plan d'eau. Des formules empiriques existent pour sa détermination. Les formules que nous allons utiliser sont les suivantes :

- la formule de Ch. MALLET et J. PACQUANT (M. LO, 2019) : $R = A * (h_v + \frac{v_v^2}{2g})$

$$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \sqrt{f}$$

$$V_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} h_v$$

$$f = (2,6 * V) / (L_B * h_r)$$

- et la formule de GAILLARD : $R = 0,75 * h_v + \frac{V_v^2}{2g}$

Où

- h_v : Hauteur des vagues (m) ;
- A : coefficient de sécurité (égale à 1 ou 2) ;
- V_v : vitesse des vagues ;
- h_r : Hauteur de la retenue ;
- f : fetch ;
- L_B : Longueur du barrage ;
- V : vitesse de propagation des vagues (m/s).

✓ Largeur en crête de la digue

La largeur en crête de la digue a été calculée à travers les formules de E.F.PREECE et de T.KNAPPEN(LO, cours de barrage 2019).

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

Avec lc : largeur en crête de la digue ;

HD : Hauteur de la digue.

✓ Largeur de base de la digue

La forme de la digue étant trapézoïdale, la largeur de base est calculée à travers la formule ci-après : $Lb = lc + (mamont + maval) * Hd$

Avec :

- Lb : largeur de base de la digue ;
- Lc : largeur en crête de la digue ;
- *mamont* : fruit de talus amont ;
- *maval* : fruit de talus aval ;
- Hd : hauteur de la digue.

✓ Fruit des talus de la digue

Pour la conception des petits barrages ($H < 5$ à 7 m) avec des matériaux reconnus, le guide de technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale(MAURICEDURAND & ROYET, 1998)propose des fruits de talus indicatifs qui résulte d'une part, des règles de l'art usuelles et d'autre part, de l'expérience. Les pentes ont été fixées en tenant compte des

informations contenues dans ce tableau et des calculs de stabilité à travers les logiciels qui ont servi de vérification afin d'optimiser la construction de l'ouvrage.

Tableau 6: Fruit indicatif des talus des barrages stables

Hauteur du barrage (m)	Type de barrage	Pente des talus	
		Amont	Aval
Inférieure à 5	Homogène	1/2,5	1/2
	A zones	1/2	1/2
Entre 5 et 10	Homogène, granulométrie étendue	1/2	1/2
	Homogène à fort % d'argile	1 /2,5	1/2,5
	A zones	1/2	1/2,5
Entre 10 et 20	Homogène, granulométrie étendue	1/2,5	1/2,5
	Homogène à fort % d'argile	1/3	1/2,5
	A zones	1/2	1/3

✓ Épaisseur de la couche de protection

Les talus doivent être protégés contre les dangers provoqués par les vagues de la retenue, par le ruissellement de la pluie ou par les vents. Il faut prévoir parfois une protection pour les talus aval, amont et la crête de la digue. L'épaisseur de la couche de protection de ces talus se calcule comme suite :

$$e = 1.5 \times D_{50} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} \checkmark e : \text{l'épaisseur de la couche de protection ;} \\ \checkmark D_{50} : \text{fonction de la hauteur des vagues.} \end{array}$$

✓ Infiltration et hydraulique interne

KOZENY a montré que, dans un barrage en terre homogène non drainé, la ligne de saturation peut être assimilée dans sa partie médiane à une parabole d'axe horizontal dont le foyer est situé au pied du talus aval du barrage. Cette parabole, dite de KOZENY, a pour équation :

$$y^2 - y_0^2 - 2 * xy_0 = 0 ; \text{ Avec } y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

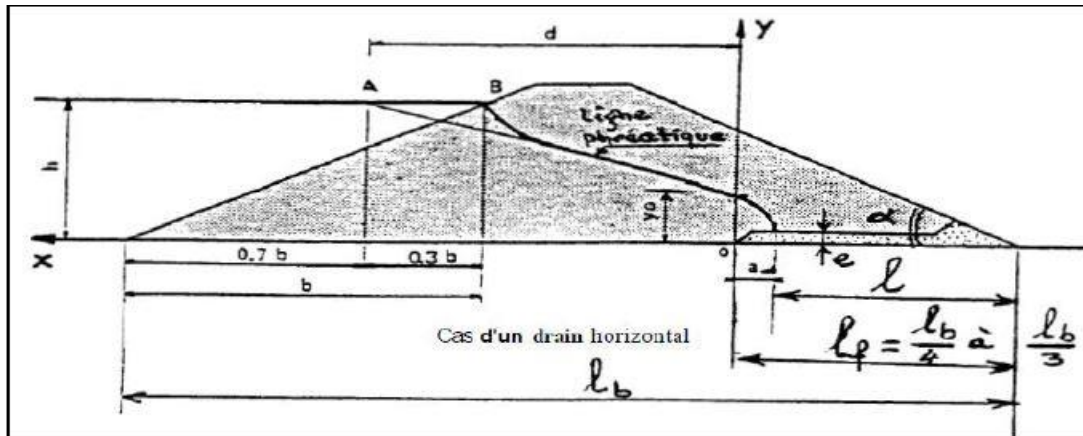


Figure 4: Image illustrative des paramètres du drainage (COMPAORE, 1996)

✓ Filtre et drain

Pour une interception des infiltrations dans le massif d'un barrage, on dispose souvent dans la partie aval de ce massif et au contact de celui-ci avec les fondations, un drain tapis filtrant destiné à rabattre la ligne phréatique à l'intérieur du massif. Lorsque la fondation n'est pas complètement imperméable, ce drain interceptera les infiltrations à travers cette dernière.

Les caractéristiques du drain sont déterminées par les formules ci-dessous :

Tableau 7: les caractéristiques du drain

Paramètres	Symbole/Formules	Observation
Longueur du drain [m]	$L_d = 0,25 L_b$	k_r ; k_d : respectivement les perméabilités du remblai compacté (10^{-8} m/s) et du drain (10^{-5} m/s) l_b ; la largeur de base de la digue
Paramètre b [m]	$b = h^2 / \text{tg} \alpha_1$	
Paramètre d [m]	$d = L_b - L_d - 0,7 b$	
Hauteur du drain y_0 [m]	$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$	
Débit de fuite q [m ³ /s/ml]	$q = k_r * y_0$	
Epaisseur du drain [m]	$e_d = 2 * \sqrt{\frac{q * l_d}{e_d}}$	

II.2.8. Dimensionnement des ouvrages annexes

II.2.8.1. Évacuateur de Crue

- **Type de déversoir**

Le choix du déversoir, son emplacement ainsi que son dimensionnement sont très importants dans la conception d'un barrage, en ce sens que sa sécurité et sa longévité en dépendent. Plusieurs facteurs (économiques, la disponibilité des terres cultivables à l'aval, la configuration du site...) ont guidé notre choix dans le cadre de la présente étude.

- **Choix du déversoir**

Trois (03) grands types de déversoirs sont fréquents au Burkina Faso selon la littérature(LO, 2016); (évacuateurs de crues et ouvrages annexes). Ce sont le déversoir type radier, le déversoir type poids et le déversoir type voile. Chacun de ces déversoirs a ses avantages et ses inconvénients. Le déversoir radier a une vocation de franchissement des populations en plus de la rétention d'eau mais sa hauteur est relativement faible, alors que les deux autres ont une hauteur élevée mais le franchissement est quasi difficile. Le déversoir type poids est celui qui a été choisi dans le cadre de ce projet.

- **Choix de l'emplacement du déversoir**

Le déversoir du barrage de Sigoguin sera placé en position centrale. Il aura une forme trapézoïdale. Cette position s'explique par la topographie du terrain et la disponibilité des terres en aval. Dans le but de protéger le périmètre irrigué, un ouvrage de protection sera construit.

- **Laminage de la crue du projet**

L'étude du laminage a deux principes :

- déterminer la cote maximale atteinte par le plan d'eau pendant la crue (la longueur déversante étant fixée) ;
- déterminer les dimensions de l'évacuateur de crues (la hauteur maximale du plan d'eau au-dessus de l'évacuateur de crues étant fixée).

Tenir compte de l'effet de laminage permet de réduire la longueur du déversoir sans augmenter le risque de submersion du barrage. L'évaluation de l'effet de laminage consiste à déterminer un coefficient β tel que :

$$\beta = \frac{Q_{emax}}{Q_{cmax}}$$

Pour ce faire, on peut utiliser la méthode du coefficient " X_0 " ou méthode EIER-CIEH. On lit la valeur de β sur un abaque après avoir déterminé la valeur $\log X_0$. Les calculs se font par itération de la façon suivante :

$L_1 = \frac{Q_{cmax}}{m\sqrt{2gh}^{1,5}}$ $x_{01} = \frac{m^2 g L_1^2 Q_{cmax} T_m^3}{S^3}; \log_{10}(x_{01})$ Lecture de β_1 sur l'abaque ; $Q_{e1} = \beta_1 Q_{cmax}$ $L_2 = \frac{Q_{e1}}{m\sqrt{2gh}^{1,5}}$ $x_{02} = \frac{m^2 g L_2^2 Q_{cmax} T_m^3}{S^3}; \log_{10}(x_{02})$ Lecture de β_2 sur l'abaque ; $Q_{e2} = \beta_2 Q_{cmax}$	avec : - Q_{cmax} [m3/s] : le débit de crue maximale ; - T_m [s] : le temps de montée ; - h[m] : la charge sur le seuil ; - m : coefficient de débit(abaque); - g [m/s²] : l'accélération de la pesanteur ; - S [m²] : la surface du PEN ; - Q_e[m3/s] : le débit du laminé
---	---

- **Stabilité du déversoir**

- **Evaluation des forces agissant sur le déversoir**

- ✚ **Poids propre du déversoir (W)**

Le poids propre du déversoir est une action stabilisante, s'obtenant en décomposant la section du déversoir en éléments simples (triangles, carrés). Il est donné suivant la relation :

$$W = \gamma_b * S * 1 \text{ m avec}$$

- γ_b (kN/m³) : Poids volumique du béton ;
- S : Section du déversoir.

- ✚ **La poussée hydrostatique externe (Pe)**

La poussée hydrostatique externe est l'action de l'eau à l'amont sur le déversoir qui tend à le pousser vers l'aval. Le déversoir est soumis à un déversement donc l'action de l'eau est donnée par :

$$Pe = \frac{1}{2} \gamma_w * H * (H + h) \text{ Avec}$$

- γ_w (kN/m³) : poids volumique de l'eau ;
- H (m) : hauteur du déversoir ;
- h (m) : hauteur de la lame d'eau sur le déversoir.

- ✚ **La poussée des terres (Pt)**

C'est une action identique à la poussée hydrostatique mais cette fois exercée par les sédiments accumulés à l'amont de l'ouvrage. La poussée de sédiments s'obtient par :

$$P_t = \frac{1}{2} \gamma_{hs} d^2 \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \text{ avec}$$

- γ (kN/m³): Poids volumique des sédiments ;
- $h_{séd}$ (m): hauteur des sédiments.

La pression hydrostatique interne (Pi)

La pression hydrostatique interne est l'action de l'eau sous le déversoir qui tend à le soulever. Le diagramme des sous pressions est déterminé par

$$P_i = \gamma_w \left(H + \frac{2}{3} * (H - h) \right) \text{ avec}$$

- γ_w (kN/m³): : poids volumique de l'eau ;
- H (m) : hauteur du déversoir ;
- h (m) : hauteur de la lame d'eau sur le déversoir.

➤ Stabilité externe

Stabilité au glissement

Les forces horizontales telles que la poussée de l'eau et des terres s'exerçant sur le barrage tendent à le déplacer vers l'aval. L'ouvrage résiste à ces forces horizontales grâce à sa fondation qui lui procure la cohésion (c) et le coefficient de frottement ($\tan \phi$). La cohésion sera négligée car elle est une caractéristique variable et aléatoire dont la pérennité n'est pas assurée en milieu saturé. Le coefficient de glissement F_g doit être supérieur à 1,2.

Il est déterminé par la formule : $F_g = \frac{\Sigma(W - P_i) \tan(\phi)}{\Sigma(P_e + P_t)}$

Stabilité au renversement

Le non renversement est vérifié si la somme des moments résistants est supérieure à la somme des moments renversants. Les moments sont calculés par rapport au point inférieur à l'aval du déversoir. Le facteur de non renversement est donné par :

$$F_r = \text{Moment } \Sigma(W - P_i) / \text{Moment } \Sigma(P_e + P_t) \geq 1,5.$$

Stabilité interne

Il consiste à vérifier la règle du tiers central (condition de non fissuration) et la contrainte limite (condition de non rupture) dans l'ouvrage.

Règle du tiers central

Il faut que : $-\frac{b}{6} \leq e \leq \frac{b}{6}$ où : **e** : l'excentricité et **b** : la base du déversoir.

Calcul des contraintes minimale et maximale

Cette condition traduit la rupture de l'ouvrage. Pour sa satisfaction, il faut que la contrainte minimale soit positive ($\sigma_{lim} > 0$) et que la contrainte maximale soit inférieure à la contrainte limite du béton ($\sigma_{max} < \sigma_{lim} = 0,3 * f_{c28}$). On a:

$$\sigma_{min} = \left(\frac{W-P_i}{b}\right)\left(1 - \frac{6e}{b}\right);$$

$$\sigma_{max} = \left(\frac{W-P_i}{b}\right)\left(1 + \frac{6e}{b}\right) \text{ avec}$$

- **b** : la base du déversoir en (m) ;
- **e** : l'excentricité en (m).

II.2.8.2. Mur bajoyer

Un bajoyer est une jonction entre la digue et le déversoir. Ils sont placés de part et d'autre du déversoir. Un mur bajoyer est assimilable à un mur de soutènement en béton armé.

II.2.8.3. Bassin de dissipation

Le dissipateur d'énergie permet de dissiper l'énergie de l'eau de déversement et d'éviter les affouillements dangereux à l'aval du barrage (KARAMBIRI & GUEYE, 2007). La profondeur normale y_n (profondeur qui apparaît pour le débit évacué (Q_e) et la pente I du chenal si l'écoulement était uniforme) se déduit de la formule de Manning Strickler.

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

- avec
- ✓ **Q** : le débit laminé (m^3/s) ;
 - ✓ **K_s** : le coefficient de rugosité du béton (75) ;
 - ✓ **m** : le fruit de berge des talus du bassin ;
 - ✓ **b** : la longueur du seuil (largeur du bassin) ;
 - ✓ **y_n** : le tirant d'eau normal ;
 - ✓ **I** : la pente du chenal (0,2%)

Le type de bassin a été choisi en fonction du nombre de Froude (F) et de la vitesse de l'eau à

l'entrée du bassin v_1 . Les calculs ont été effectués à travers la résolution d'un système d'équations issues de la relation de BERNOULLI pour déterminer le tirant d'eau y_1 et la vitesse v_1 à l'entrée du ressaut :

$$\begin{cases} v_1 = \sqrt{2g \left[0,9 \left(H + h + \frac{V_0^2}{2g} \right) - y_1 \right]} \\ y_1 = \frac{Q}{l * v_1} = \frac{q}{v_1} \\ F = \frac{V_1}{\sqrt{g * y_1}} \end{cases}$$

- avec
- l : longueur du seuil déversant (m) ;
 - Q : le débit laminé (m^3/s) ;
 - q : débit spécifique sur seuil ($m^3/s/ml$) ;
 - h : la lame d'eau sur le seuil ;
 - H : hauteur libre du déversoir ;
 - V_0 : la vitesse de l'eau sur le seuil ;
 - y_1 : le tirant d'eau à l'entrée du réseau ;
 - V_1 : la vitesse à l'entrée du réseau ;
 - F : le nombre de Froude.

II.2.8.4. Ouvrage de prise

Le barrage étant à vocation agricole, un ouvrage de prise sera installé à l'aval pour favoriser le prélèvement d'eau pour l'irrigation d'une superficie de 5 ha pendant la saison sèche. La détermination du diamètre de cet ouvrage de prise s'est faite à partir de la formule de E. TORRICELLI. Dans le but de dominer la terre cultivable en altitude et éviter les courants d'eau issus du déversement, la prise sera placée en rive droite. Les paramètres de son dimensionnement sont les suivants :

$Q = CS\sqrt{2gh}$	✓	Q : le débit fictif [m^3/s] ;
$S = \frac{\pi * D^2}{4}$	✓	C : coefficient de contraction ;
$h = \text{Côte PEN} - \text{Côte à la sortie}$	✓	h : la charge de l'eau [m] ;
	✓	S : la section de la conduite [m^2] ;
	✓	g : l'accélération de la pesanteur [m/s^2] ;
	✓	D : le diamètre de la conduite [m].

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. SYNTHESES DES DONNEES DE BASE

III.1.1. Synthèses des études topographiques

Le plan topographique réalisé à l'échelle 1/5000ème fait ressortir l'emplacement des bornes repères, les courbes de niveau sur une emprise d'environ 380 ha (voir annexe 9).

III.1.2. Synthèses des études géotechniques

Les principales conclusions de l'étude géotechnique menée sur le site du barrage se présentent comme suit :

- pour la tranchée d'ancrage les profondeurs varient de 0,5 à 2,1 m ;
- l'argile qui sera utilisé pour le remblai du corps de la digue est celle située dans la cuvette et est en quantité suffisante (52 000m³). Des essais de contrôle sur sa qualité ont été réalisés ;
- les matériaux latéritiques, situés dans une carrière à environ 1,5 km du site du barrage, peuvent être utilisés pour le couronnement de la digue ;
- le sable qui sera utilisé provient d'un cours d'eau d'un village voisin (Sasia) accessible après l'hivernage ;
- les graviers latéritiques sont facilement accessibles sur la route de Sabou auprès des femmes qui concassent le granite ;
- les moellons latéritiques se trouvent sur un monticule en rive droite, juste après le prolongement de la digue ;
- l'eau nécessaire pour les travaux de béton et de remblais sera puisée au barrage de Salbisgo situé à 2km et de Palogo situé à 6km du site.

III.1.3. Synthèses des études socio-économiques

Selon les investigations, Sigoguin en langue mooré signifierait en français « la forêt de Sougué » (CAFI-B SARL, 2020). Les premiers habitants seraient venus de Kindi à la recherche de pâturage pour leurs animaux en passant par Koudougou. C'est ainsi qu'ils se sont installés dans cette zone qui autrefois était une grande forêt en mooré « googo » et le premier habitant avait pour prénom « Sougué ».

Selon les données du recensement général de la population et de l'habitat de 2006, la population résidente du village de Sigoguin était de 1909 habitants dont 1043 femmes soit 54,64%. Le nombre de ménages y était de 280.

Du point de vue ethnique, le village de Sigoguin est essentiellement constitué de mossi (majoritaire), de gourounsi et de peulh. Ainsi, le mooré est la langue la plus parlée dans le village.

Le village de Sigoguin fait face à deux types de mouvements migratoires (interne et externe). Les mouvements internes se font généralement pendant les saisons sèches et restent essentiellement liés à la recherche de bien-être social dans les grandes villes comme Koudougou, Ouagadougou et Bobo. L'émigration concerne généralement les pays tels que la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Mali, etc. Elle est surtout causée par la pauvreté et la faible productivité des sols.

Sur le plan économique, l'agriculture constitue l'une des principales activités économiques et occupe la majorité de la population. Elle se mène dans un climat qui se caractérise par une irrégulière répartition des pluies dans le temps et dans l'espace. Les spéculations produites sont diversifiées et portent essentiellement sur deux types de cultures: les cultures vivrières (sorgho, riz) et les cultures maraîchères (tomates, oignons, haricot vert,...).

Le cours d'eau offre des points d'abreuvement au bétail. En saison sèche une partie de la zone exploitée est pâturée par les animaux. Les principaux marchés d'écoulement des produits sont ceux de Sigoguin qui a lieu chaque trois jours, de Salbisgo, de Palogo et de Koudougou.

III.2. ETUDE HYDROLOGIQUE

III.2.1. Analyse fréquentielle des pluies

Comme expliqué dans la méthodologie, les données pluviométriques de la station de Koudougou sur une période de quarante ans (1977-2016) ont été utilisées. Les caractéristiques des échantillons sont présentées dans le tableau 8 ci-dessous.

Tableau 8:Caractéristiques des échantillons de pluies étudiées

Désignations	Unités	Pluies moyennes annuelles	Pluies maximales journalières
Pluie maximale	mm	1010	122
Pluie minimale	mm	553.2	24
Pluie moyenne	mm	775	54.5
Ecart type	mm	131	24.6
Coefficient de variation	%	20	45
Intervalle de confiance	%	95	95

Les pluies moyennes annuelles ont été ajustées à la Loi de GAUSS et les pluies maximales journalières à la Loi de GUMBEL ou Loi des valeurs extrêmes. Les courbes d'ajustement sont présentées ci-dessous.

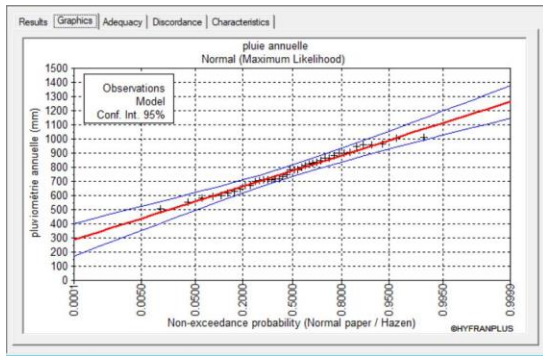


Figure 5 : Courbe d'ajustement, Loi de GAUSS

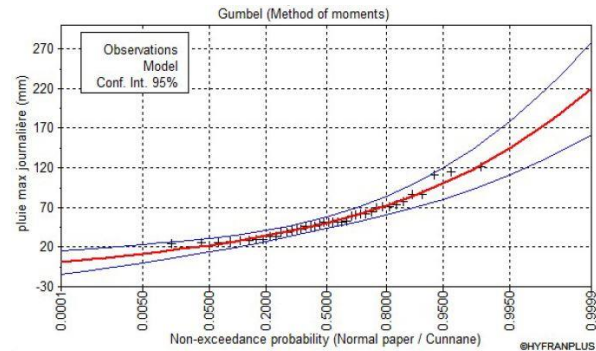


Figure 6 : Courbe d'ajustement, Loi de GUMBEL

L'ensemble des points sont contenus dans les courbes enveloppes. Ces résultats confirment que les pluies moyennes annuelles s'ajustent bien à la loi de GAUSS et les pluies maximales journalières à la loi de GUMBEL. L'analyse des pluies a permis de déterminer les quantiles pour différentes périodes de retour (Tableau 9).

Tableau 9: Synthèse de l'analyse des pluies moyennes annuelles et maximales journalières

Désignations	Valeurs
Pluie annuelle moyenne (Pan) (mm)	775
Pluie décennale humide (mm)	943
Pluie décennale sèche (mm)	607
Pluie centennale sèche (mm)	469
Pluie centennale humide (mm)	1080
Pluie journalière maximale de fréquence décennale humide (P10) (mm)	86.5
Pluie journalière maximale de fréquence centennale humide (P100) (mm)	131

La valeur moyenne de la pluviométrie annuelle est de l'ordre de 775 mm/an. La zone du projet est située entre les isohyètes 750 mm et 1200mm. Cette zone climatique correspond au climat tropical sec.

III.2.2. Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de Sigouin couvre une superficie de 210,51 km² et se situe dans la catégorie des bassins moyens notamment la classe 3 selon la classification de Rodier définie dans le

manuel de l'estimation des crues de la FAO. La figure 7 présente les limites du bassin versant de Sigoguin. Il s'agit d'un bassin de forme allongée (indice de compacité supérieur à 1).

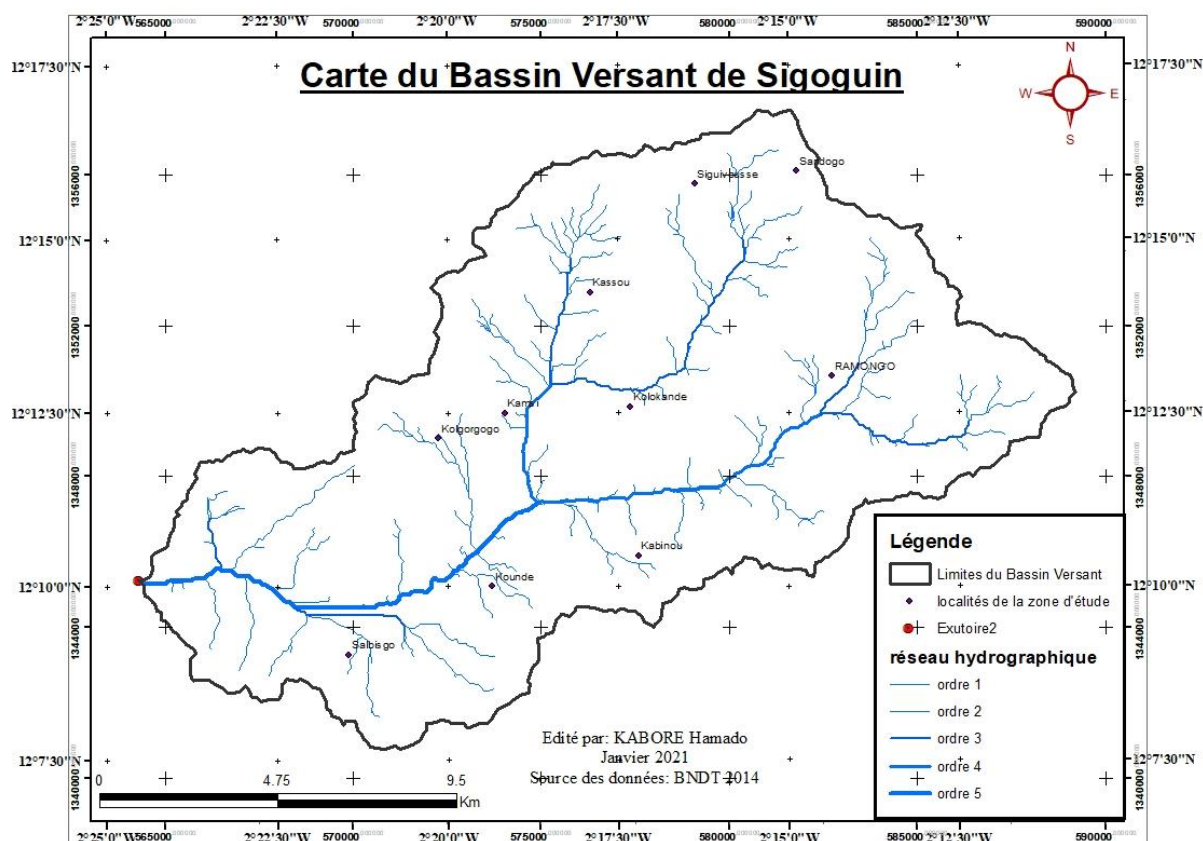


Figure 7 : Limites du bassin versant de Sigoguin

Les principales caractéristiques du bassin sont dans le tableau 10 ci-dessous.

Tableau 10: Paramètres caractéristiques du bassin versant

Paramètres	Symbole	Valeurs	Unités
Périmètre	P	78,5	km
Surface	S	210,51	km ²
Pente transversale	It	11,98	m/km
Indice de compacité	Ic	1,77	
Longueur du rectangle équivalent	Leq	32,9	km
Altitude maximale	Zmax	326	m
Altitude minimale	Zmin	273	m
Indice global de pente	Ig	1,21	m/km
Indice global de pente corrigé	Igcorr	3,9	m/km
Pente longitudinale	I	2,36	m/km
Dénivelé spécifique	Ds	56,7	m
Longueur totale des cours d'eau	Lc	214,34	km
Indice d'infiltrabilité	I	P2/RI	
Type de climat		Tropical sec	

III.2.3. Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique (Figure 8) donne la répartition de la superficie du bassin versant en fonction de l'altitude.

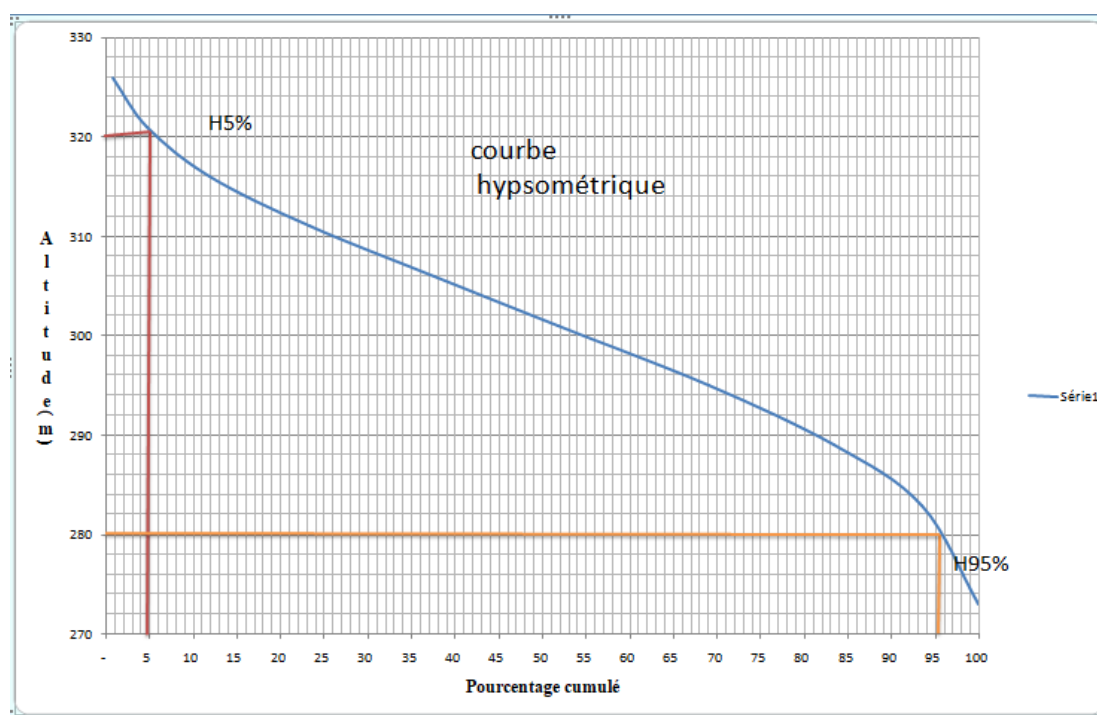


Figure 8 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Sigoguin

La courbe hypsométrique permet de lire les altitudes caractéristiques du bassin :

- Altitude à 5% de surface ($Z_{5\%}$): 320 m ;

- Altitude à 95% de surface Z ($Z_{95\%}$): 280 m.

La courbe hypsométrique caractérise le relief du bassin versant. Celle du bassin versant de Sigoguin montre un relief très faible.

III.2.4. Prédétermination de la crue de projet

➤ Crue décennale

La détermination de la crue du projet (crue centennale) s'est basée par la détermination de la crue décennale. Deux méthodes (ORSTOM et CIEH) ont permis d'estimer cette crue décennale dont les résultats sont affichés dans le tableau ci-après :

Tableau 11: paramètres de détermination de la crue décennale

Désignations	Symboles/unités	Valeurs
Surface	S [km ²]	210,51
Pluviométrie annuelle	Pan[mm]	775
Pluie journalière décennale	P10 [mm]	86,5
Pluie journalière centennale	P100 [mm]	131
Indice global de pente	Ig [m/km]	4
Indice de compacité	Ic	1,53
Coefficient d'abattement	A	0,7
Coefficient de ruissellement décennal	Kr10 [%]	17,98
Temps de base décennal	Tb10 [mn]	2223,66
Temps de montée décennal	Tm10 [mn]	733,8
Coefficient de majoration du débit	m	1,045
Coefficient de pointe de débit	α	2,6
Crue décennale (méthode ORSTOM)	Q10 [m ³ /s]	46,76
Crue décennale (méthode CIEH)		57,68
Crue décennale retenue		57,68

De plus en plus, de fortes crues sont observées chaque année entre les mois d'août et d'octobre occasionnant parfois la rupture de certains barrages. Pour prendre en compte les incertitudes et prévenir les dommages sur les ouvrages suite à de crues exceptionnelles, nous retiendrons la crue décennale maximale issue des deux méthodes, c'est à dire celle donnée par la méthode CIEH qui est de 57,68 m³/s.

➤ Passage à la crue centennale

La crue centennale a été obtenue en multipliant la crue décennale retenue par un coefficient multiplicateur C ou coefficient de GRADEX. Le résultat est présenté dans le tableau 12.

Tableau 12: Paramètres de détermination de la crue centennale

Désignation	Débit décennal Q_{10} (m ³ /s)	Coefficient de GRADEX(C)	Débit centennal Q_{100} (m ³ /s)
Valeurs	57,68	4,01	231,54

La crue centennale ainsi obtenue est de 231,54 m³/s. Elle est assez importante mais s'explique par la taille du bassin versant (210,51 km²) et la densité du réseau hydrographique (Figure 7). Il faut noter qu'à l'intérieur de ce bassin, deux barrages y sont déjà réalisés, celui de Salbisgo à environ 2 km et celui de Palogo à environ 6 km en amont du site de Sigoguin.

➤ Hydrogramme des crues

Le tracé de l'hydrogramme de crue (Figure 9) a été réalisé à partir du temps de base, de la crue de projet et du temps de montée des eaux. Les détails de calcul hydrologique sont présentés à l'annexe 3.

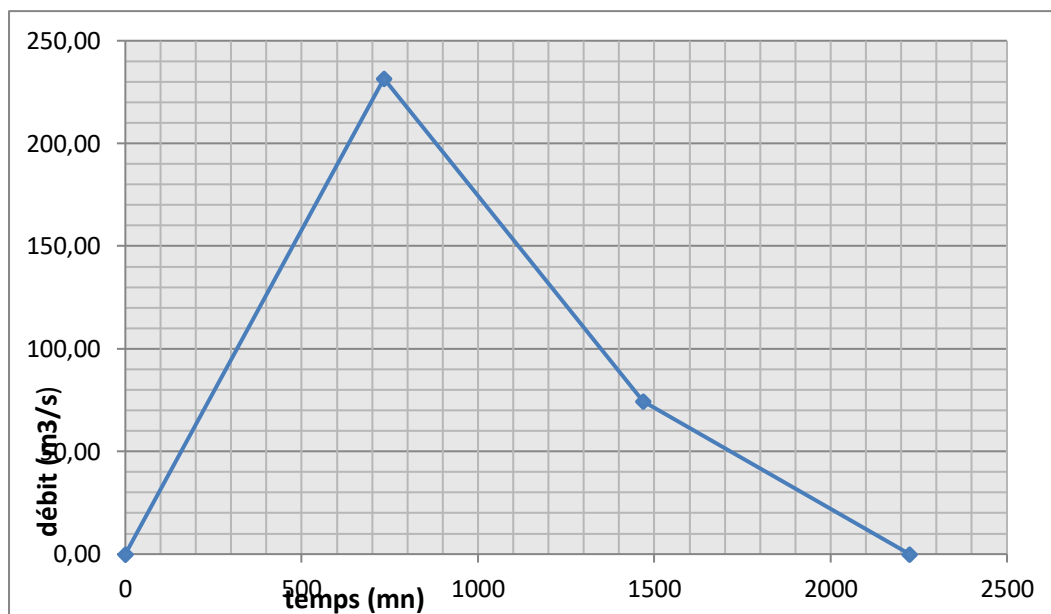


Figure 9: Hydrogramme des crues

L'hydrogramme de crue renseigne sur le débit maximum de la crue et le débit de discontinuité (74,39 m³/s) qui indique le changement de pente lors de la décrue.

III.2.5. Crue de rupture du barrage

La crue de rupture est fonction de la longueur de la digue et de la longueur du déversoir. Elle est égale à **1110.27 m³/s** soit environ cinq (05) fois la crue du projet.

III.3. ETUDE DE LA RETENUE

III.3.1. Evaluation des apports liquides

Les apports liquides sont la quantité d'eau susceptible d'arriver à l'exutoire d'un barrage pendant une période donnée. Ils ont été évalués à travers deux méthodes (COUTAGNE et RODIER) dont les résultats sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13: Evaluation des apports liquides par les méthodes de RODIER et de COUTAGNE

Paramètres	Année moyenne	Année quinquennale sèche	Année décennale sèche
Pluviométrie (mm)	775	664	607
Superficie bassin (km2)	210,51	210,51	210,51
Apports liquides (m3), Suivant la méthode de RODIER	9 472 950	4 210 200	2 947 140
Apports liquides (m3), Selon COUTAGNE	26 787 620	16 065 659	10 490 378

La capacité projetée pour le barrage de Sigouin est de 719 038 m³. En année quinquennale sèche les apports liquides donnés par la méthode de Rodier (4 210 200 m³) et celle de COUTAGNE (16 065 659 m³) permettent de remplir la cuvette du barrage.

Il faut noter que les deux méthodes utilisent des formules empiriques pour les calculs et des graphiques, ce qui nécessairement induit des erreurs d'appréciation.

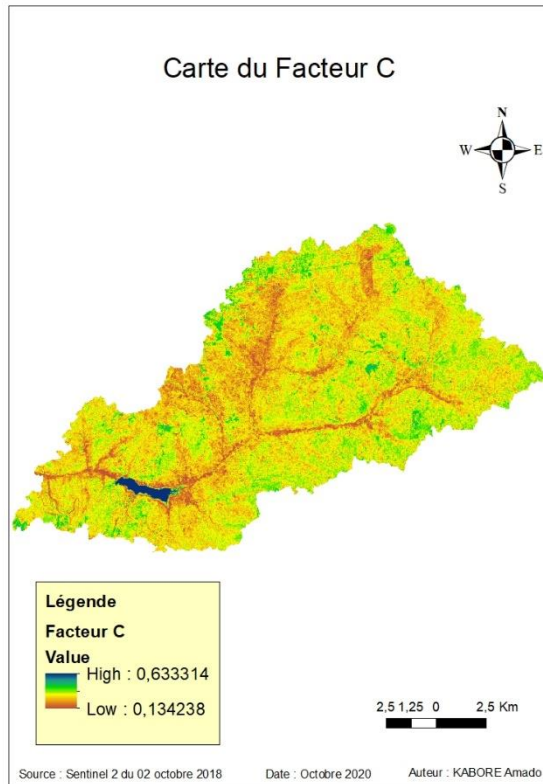
Toutefois, tenant compte de l'existence des deux barrages (Salbisgo et Palogo) en amont, nous retiendrons les apports donnés par la méthode de Rodier.

III.3.2. Evaluation des apports solides et cartographie du risque d'érosion hydrique

III.3.2.1. Cartographie du risque d'érosion hydrique

- Le facteur d'érodabilité C

Le facteur C détermine la densité du couvert végétal, l'efficacité relative à des systèmes culturels et la gestion des sols. La Figure 10 donne la répartition spatiale de l'indice de couvert végétal.



Les valeurs du facteur C, pour le bassin de Sigoguin, sont comprises entre 0,13 et 0,63. Les valeurs inférieures à 0,5 concernent les forêts denses, les matorrals denses et l'arboriculture. Les valeurs de facteur C supérieures à 0,5 sont des zones à faible couvert végétal, donc d'une grande sensibilité à l'érosion hydrique.

Ces parties du bassin versant sont indiquées en couleur verte sur la carte. La partie bleue de la carte où le facteur C tend vers 0,63 représente le plan d'eau du barrage de Salbisgo où l'activité chlorophyllienne est faible.

Figure 10 : Carte du Facteur C du bassin versant de Sigoguin

- **Facteur d'érodabilité des sols K et facteur d'agressivité climatique R**

Le facteur K a été déterminé à l'aide des données de Harmonized World Soil Database, téléchargeable à l'adresse <http://www.iiasa.ac.at/research/LUC/External-World-soil->.

La Figure 11 présente la carte de l'indicateur d'érodabilité des sols du bassin versant de Sigoguin.

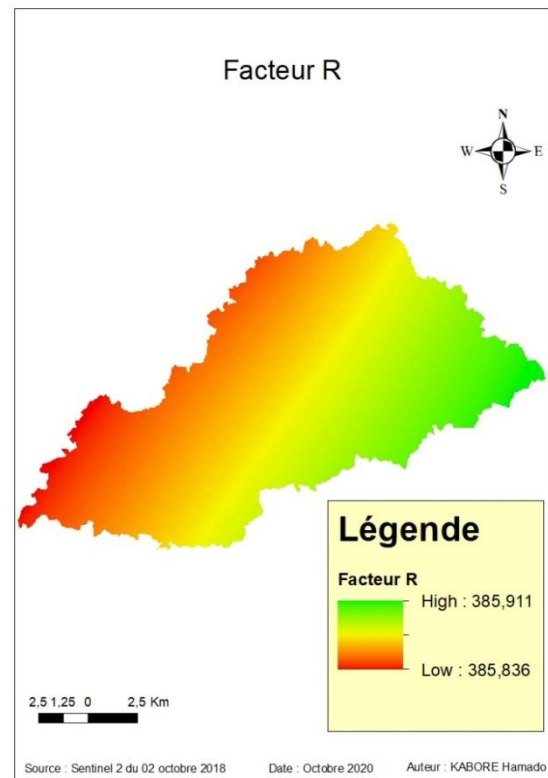
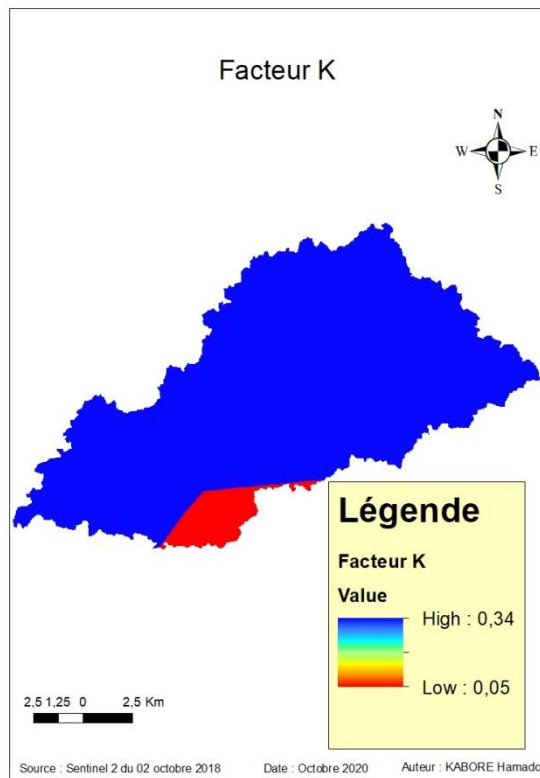


Figure 11 : Carte du Facteur K du bassin versant de Sigoguin

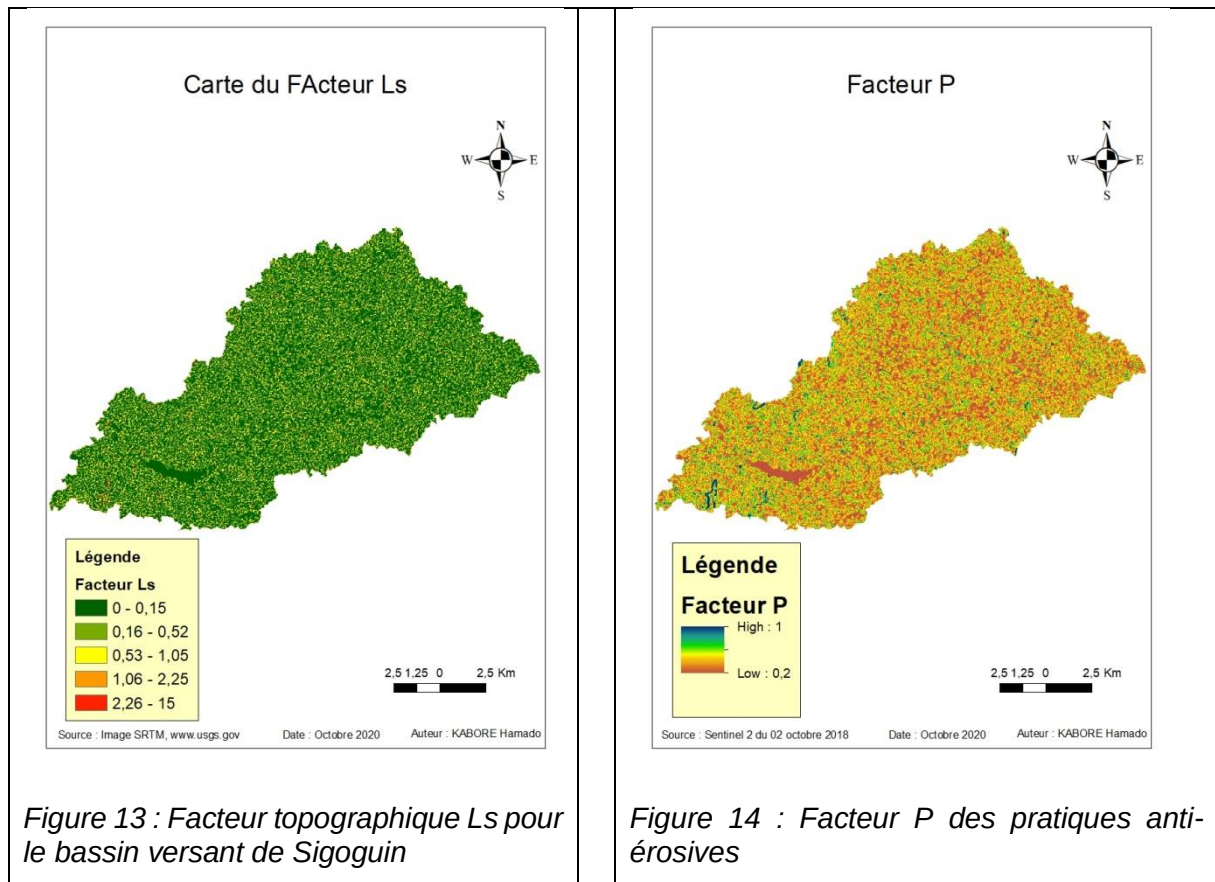
Figure 12 : Facteur d'agressivité climatique (en MJ.mm/ha.h.an)

Le facteur K (Fig.11) dans le bassin versant de Sigoguin varie de 0,05 t. ha.h/ha.MJ.mm pour les sols les moins érodables à 0,34 t. ha.h/ha.MJ.mm pour les sols moyennement sensibles à l'érosion.

Le facteur R (Fig 12) est un indice d'érosivité des pluies. Il caractérise le pouvoir érosif par l'intensité de la pluie. Les valeurs du facteur R sont en moyenne de 386 MJ.mm/ha.h.an. Ces valeurs de R dépassant 50 MJ.mm/ha.h.an indiquent que la totalité du bassin versant de Sigoguin est soumise à une agressivité climatique élevée. On en déduit donc que le pouvoir érosif des pluies est important dans ce bassin.

- **Le facteur topographique Ls et le facteur des pratiques anti-érosives P**

Le facteur Ls est un facteur qui aggrave l'effet du ruissellement des eaux de pluie. La longueur et le degré d'inclinaison de la pente sont déterminants dans le processus de l'érosion. La figure 13 présente le facteur topographique tandis que la figure 14 donne la carte des pratiques anti-érosives.



Les valeurs du facteur Ls (Fig 13) du bassin versant de Sigouin sont comprises entre 0 et 15. L'essentiel du bassin versant est dominé par des valeurs de Ls comprises entre 0 et 5, ce qui correspond à des zones de faible élévation, des zones de plaines et de lit de cours d'eau.

Le facteur P (Fig. 14) représente la protection du sol et les pratiques antiérosives. Les valeurs du facteur P sont inférieures ou égales à 1. La valeur 1 correspond aux terrains sans pratiques antiérosives. Le facteur P varie selon la pratique agricole ou de lutte antiérosive adoptée et aussi selon la pente.

➤ Les pertes en sol par unité de surface

Les pertes en sols résultent de la combinaison des facteurs du modèle RUSLE. Il s'agit de l'agressivité climatique (Facteur R), de la sensibilité des sols (Facteur K), du facteur topographique (facteur Ls), de la couverture végétale (Facteur C) et des pratiques antiérosives (Facteur P). La combinaison des cartes de ces principaux facteurs explicatifs de l'érosion hydrique a permis d'obtenir la carte des pertes en sols en tout point du bassin versant de Sigouin. La figure 15 présente la répartition des pertes en sol dans le bassin versant.

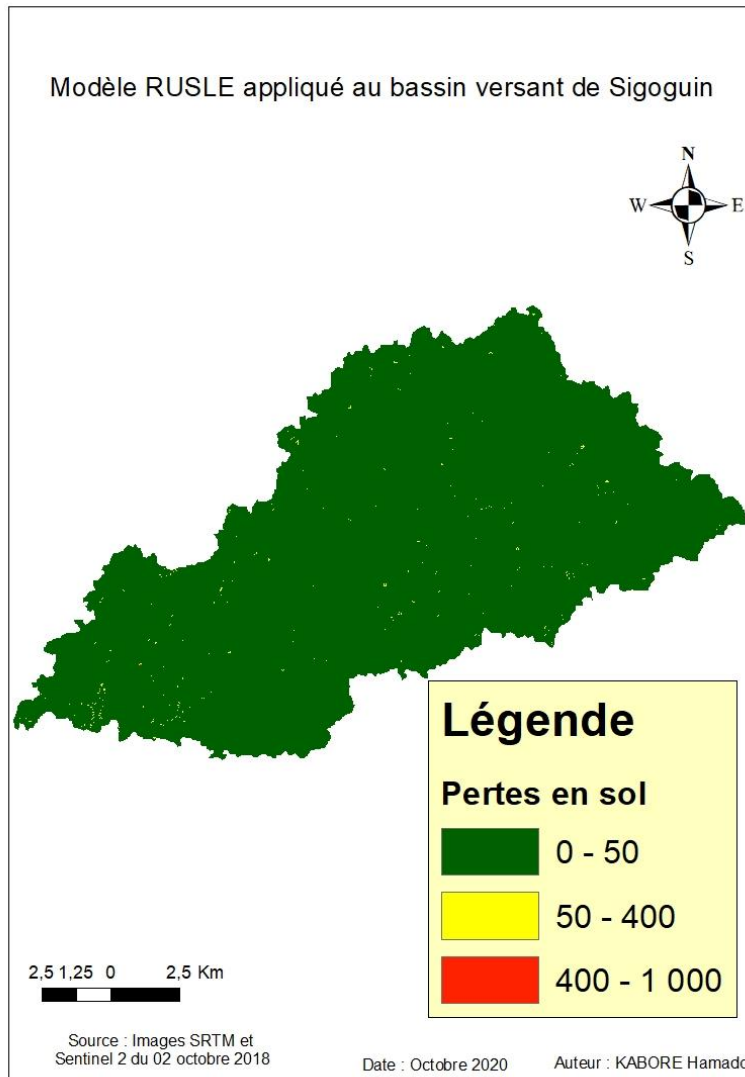


Figure 15 : Pertes en sols (en t/ha/an) dans le bassin versant de Sigoguin

Le bassin est caractérisé essentiellement par des pertes en sols inférieures à 50t/ha/an. Cette valeur témoigne que l'érosion hydrique n'est pas critique dans le bassin, mais commande de raisonner l'utilisation des sols par des aménagements dans le but de prévenir l'érosion et partant le transport solide vers la cuvette du barrage.

Le modèle RUSLE permet d'établir une carte synthétique des pertes en sol ou de l'érosion potentielle (t/ha/an) et de répartition spatiale de la vulnérabilité à l'érosion des différentes zones du bassin versant.

Toutefois le modèle présente des limites qu'il convient de signaler. Initialement, la méthode était utilisée sur des parcelles cultivées dans des exploitations agricoles avant d'être améliorée

pour être appliquée aux bassins versants où l'on assiste à une variation de la longueur et de l'intensité de la pente sur les versants. Il se pose alors des problèmes de précision lorsqu'on l'utilise sur une plus grande échelle et dans conditions autres que celles dans lesquelles il a été adopté. Malgré ces incertitudes, la méthode permet aux décideurs et aux gestionnaires de planifier les interventions de lutte contre l'érosion dans les zones où le risque est élevé.

III.3.2.2. Apports solides au droit du déversoir

Les apports solides ont été déterminés grâce aux formules de L.C.GOTTSCHALK, J.M.GRESILLON et H.KARAMBIRI. Les différentes valeurs trouvées sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 14: Evaluation des apports solides

Auteurs	Dégradations spécifiques (m ³ /km ² /an)	Volume de sédiments (m ³ /an)
GOTTSCHALK	152,28	32 056,70
GRISILLON	156,32	32 908,93
KARAMBIRI	67,46	14 202,65

Le barrage de Sigoguin se situe en aval du barrage de Salbisgo et de celui de Palogo ; par conséquent, une partie des apports solides du bassin versant y s'accumulera. De plus, toutes les terres décapées dans le bassin versant ne se déposent pas dans la cuvette, une partie reste dans le bassin par décantation, une autre passe au-dessus du déversoir lorsqu'il déverse et le reste se dépose dans la cuvette. Les valeurs trouvées par la méthode de KARAMBIRI seront utilisées pour la suite de l'étude. Cela s'explique par le fait que cette méthode utilise plus de paramètres que les autres ; encore mieux elle a été expérimentée au Burkina Faso. L'estimation des apports solides à l'horizon du projet (2050) s'élève donc à 127 824 m³ correspondant à la côte 274m.

III.3.3. Evaluation des pertes d'eau par évaporation et par infiltration

Les pertes d'eau par évaporation et par infiltration évaluées pour les mois où l'ouvrage est le plus sollicité, sont consignées dans le tableau 15, ci-après.

Tableau 15: Evaluation des pertes d'eau par évaporation et par infiltration

Mois	Jan	Fév	Mars	Nov	Déc	Total
Nombre de jours	31	28	31	30	31	
Évaporation moyenne (mm)	249,60	264,60	327,70	218,30	236,80	
Évaporation lac(mm/j)	5,84	6,43	6,88	5,50	5,66	
Évaporation lac moyenne mensuelle(mm)	181,00	180,10	213,30	164,80	175,40	915 ,6
Infiltration moyenne(mm)	46,50	42,00	46,50	45,00	46,50	225,5
Total pertes (mm)	227,50	222,10	259,80	209,80	221,90	1141 ;1

III.3.4. Evaluation des besoins en eau

Les besoins humains, agricoles et pastoraux sont estimés à **83 948 m³** durant la période sans apport. Dans le calcul des besoins agricoles l'oignon s'est révélée la culture la plus contraignante parmi les cultures comme la tomate, le chou, le haricot vert, le maïs, l'arachide, l'aubergine. Cette spéculation a été donc utilisée pour le calcul des besoins en eau de la campagne agricole. Parmi les variétés d'oignon, nous avons préféré la variété dont le cycle est de 150 jours dans le cadre de cette étude.

Tableau 16: Evaluation des besoins en eau

Besoins	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.
Jours	30	31	31	29	31
Pastoraux (m³)	1 884	1 946,8	1 946,8	1 758,4	1 946,8
Humain (m³)	7 398	7 644,6	7 644,6	6 904,8	7 644,6
Agricoles (m³)	3 689,58	7 225,08	20 863,36	22 825,03	16 031,41
Totaux (m³)	12 972	16 816	30 455	31 488	25 623

III.3.5. Courbes hauteurs-volumes et hauteurs-surfaces

L'étude de la topographie de la cuvette a permis de tracer les courbes hauteurs-surfaces et les courbes hauteurs-volumes ci-après :

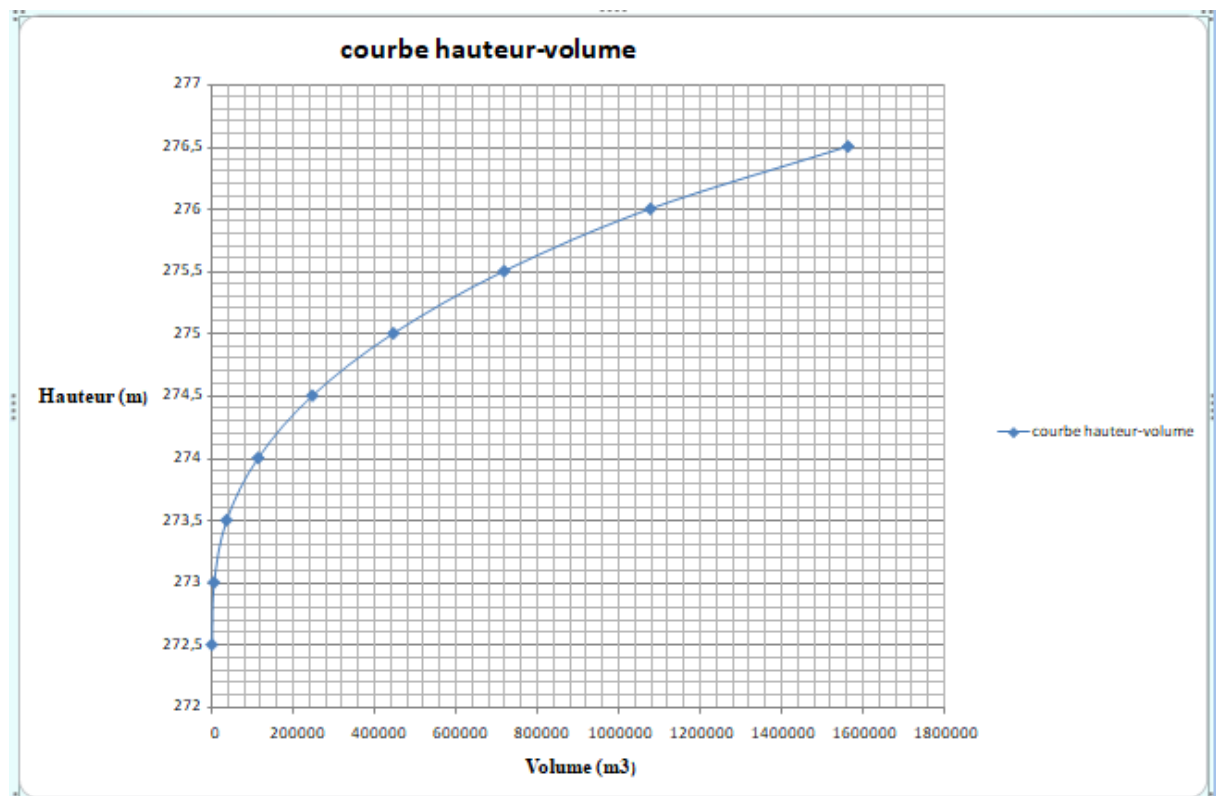


Figure 16: Courbe Hauteur-Volume

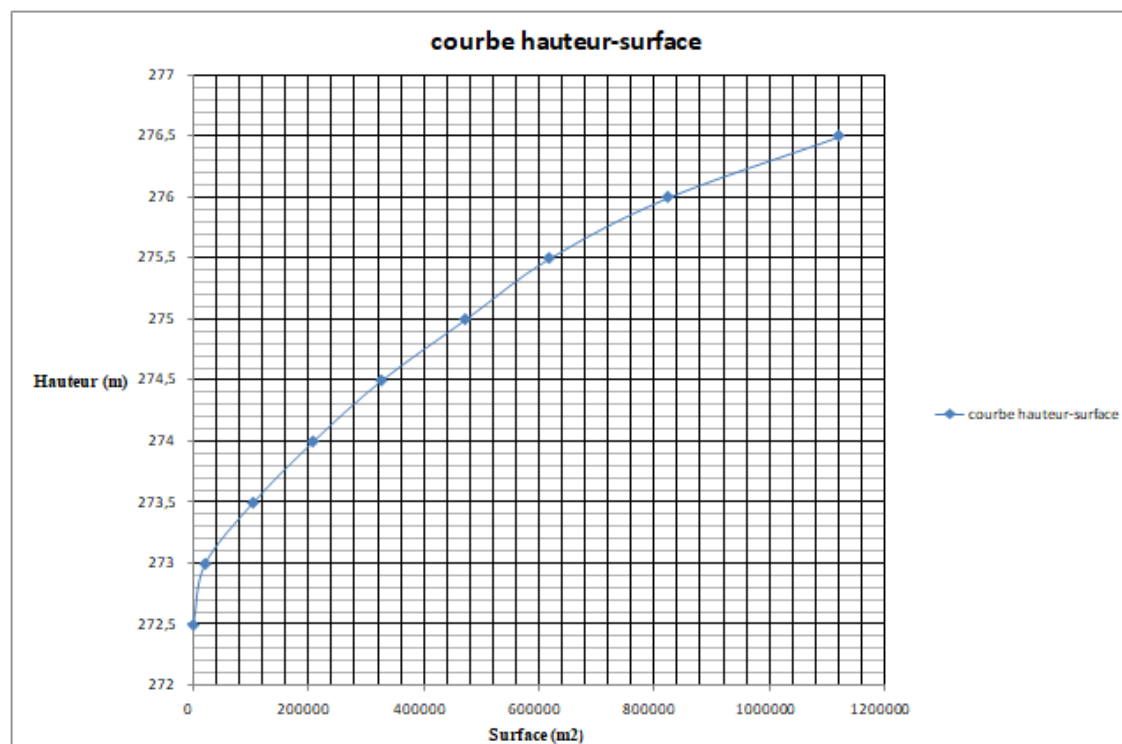


Figure 17: Courbe Hauteur-Surface

III.3.6. Courbe d'exploitation du barrage

Dans le but de couvrir la quasi-totalité des besoins en eau des populations et les pertes au niveau de la cuvette durant les cinq (5) mois (novembre à mars) tout en tenant compte des deux barrages (Salbisgo et Palogo) et des concessions aux abords de la cuvette, le plan d'eau a été calé à la cote 275,5 m. Une simulation de l'exploitation de l'ouvrage a été faite, avec une superficie agricole de 5 ha tout en considérant que le barrage déverse jusqu'au 1^{er} novembre.

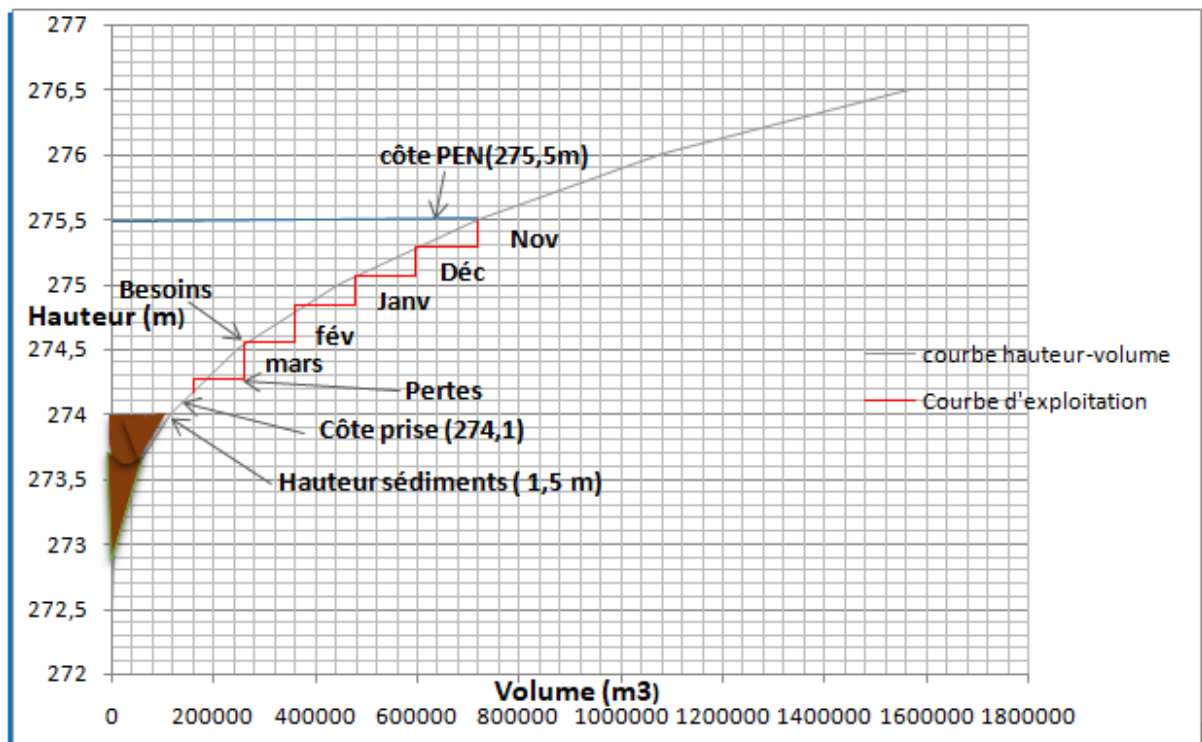


Figure 18: Courbe d'exploitation du barrage

III.4. DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE DE SIGOQUIN

III.4.1. Tranchée d'ancrage: sols de fondation sous la digue

Six (06) sondages à ciel ouvert ont été réalisés dans l'axe de la digue à des profondeurs allant de 1 m (en rive) à 2,50 m (lit mineur).

✓ Appui extrémité rive gauche

Le matériau retrouvé s'apparente à une argile limoneuse :

- Gravier : 10,5 % ;
- argile : 19 % ;

- passant au tamis 80 μm :39 % ;
- Limite de liquidité (LL) : 35,8 % ;
- Indice de plasticité (IP) : 20,2 %.

Dans la classification USCS, ce matériau se range dans la catégorie des « sables argileux ». Le coefficient de LANE qui sera employé pour l'étude de la tranchée d'ancrage en rive gauche est $C = 2,5$.

✓ **Appui rive gauche**

Le matériau retrouvé est composé de :

- Gravier : 24 % ;
- argile : 31% ;
- passant au tamis 80 μm :62,5 % ;
- Limite de liquidité (LL) : 38,7 % ;
- Indice de plasticité (IP) : 23,5 %.

Dans la classification USCS, ce matériau se range dans la catégorie des « argiles peu plastiques ». Le coefficient de LANE qui sera employé pour l'étude de la tranchée d'ancrage en rive gauche est : $C = 2,5$.

Au lit mineur

Le matériau retrouvé s'apparente à une argile limoneuse :

- Gravier : 1,5 % ;
- argile : 30 % ;
- passant au tamis 80 μm :54 % ;
- Limite de liquidité (LL) : 30,3 % ;
- Indice de plasticité (IP) : 15,7 %.

Dans la classification USCS, ce matériau se range dans la catégorie des « argiles moyennement plastiques ».Le coefficient de LANE qui sera employé pour l'étude de la tranchée d'ancrage au lit mineur est : $C = 3$. Dans le lit du marigot, le fond de la tranchée d'encrage sera calé à la côte 269,2 m.

Appui rive droite

A ce niveau, le matériau retrouvé s'apparente à une argile limoneuse :

- Gravier : entre 0,5% et 3 % ;
- argile : entre 41 % et 47%;

- passant au tamis 80 μm : entre 72,5% et 95,5 % ;
- Limite de liquidité (LL) : entre 27% et 41 % ;
- Indice de plasticité (IP) : 13,5% et 28 %

Dans la classification USCS, ce matériau se range dans la catégorie des « argiles moyennement peu plastiques », CL, compactes in-situ. Le coefficient de LANE qui sera employé pour l'étude de la tranchée d'ancrage en rive gauche est : $C = 2,5$.

En rive droite, la profondeur de la tranchée d'ancrage sera de 2,1m au profil 28 ; puis 1,45m au profil 32 et 0,5m au profil 37. Le profil en long du barrage se trouve à l'annexe 10.

III.4.2. Digue

La digue du barrage de Sigoguin, comme la majorité des petits barrages du Burkina Faso, est homogène en terre. Il est muni d'un drain qui a pour effet de rabattre la ligne phréatique à l'intérieure du remblai. Dans ce cas la parabole de J.KOZENY a pour foyer l'extrémité amont du drain auquel se raccorde la ligne de saturation (COMPAORE, 1996). Les paramètres caractéristiques de la digue sont indiqués dans le tableau 17. Les détails de calcul se trouvent à l'annexe 5.

Tableau 17: Paramètres caractéristiques de la digue

Paramètre	Valeurs
Côte de la digue	277
Côte au PEN (m)	275,5
Côte au PHE (m)	276,2
Revanche total (m)	1,5
Epaisseur de la couche de couronnement (m)	0,20
Longueur de la digue sans déversoir (m)	652
Revanche libre (m)	0,80
Hauteur du barrage	4,50
Largeur en crête de la digue (m)	3,50
Largeur maximale de fondation (m)	23,75
Pente des talus amont	2,5H/1V
Pente des talus aval	2H/1V
Longueur du drain (m)	5,4
Débit de fuite (m^3/s)	$3.72\text{E}-10$
Epaisseur du drain (cm)	0,20

III.4.3. Stabilité des pentes de talus

Les études de stabilité permettent de vérifier que l'ouvrage résiste aux phénomènes de renversement et de glissement sous l'action des sollicitations extérieures. La digue du barrage de Sigoguin étant en terre homogène, les sollicitations extérieures sont négligeables pour le

renversement ou le glissement d'ensemble. Le phénomène à craindre est le glissement des talus. L'étude de stabilité a été faite par la méthode des cercles de glissement et a consisté à :

- la vérification à la retenue vide ;
- la vérification à la retenue pleine ;
- la vérification en cas de vidange rapide.

Cette vérification s'est faite avec les deux premières car la dernière est très rare, il s'agit d'un cas où le niveau de la retenue descend plus vite que le niveau de l'eau dans le remblai et celle-ci retourne dans la retenue avec les particules fines.

Le logiciel Géoslope a été utilisé pour les vérifications selon les conditions de MORGENSTERN-PRICE et de A. BISHOP.

Type de vérification	MORGENSTERN-PRICE	A. BISHOP	Valeur retenue
Barrage vide	2,243	2,223	2,223
Barrage pleine	2,046	2,029	2,029

Tous les facteurs de sécurité issus des simulations sont satisfaisants quel que soit le contenu du barrage car les valeurs sont supérieures à 1,2. On déduit que les pentes de talus de la digue sont stables en tout point et en toutes conditions.

III.4.4. Protection des talus

➤ Talus amont

Une couche de perré sec en enrochement de moellons latéritiques d'une épaisseur moyenne de 40cm protégera le talus amont contre le battillage des eaux. Ces moellons seront disposés de façon à éviter que les matériaux de la digue ne soient érodés par les vagues. Les enrochements seront posés sur une couche de pose en grave latéritique d'une épaisseur de 10 cm qui jouera en même temps le rôle de filtre de protection du remblai de la digue.

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

➤ Talus aval

Le talus aval sera également protégé par une couche de perré sec constituée d'enrochements latéritiques de 40cm d'épaisseur afin de lutter contre l'action érosive de l'eau, l'action des animaux et celle du vent. Ils seront posés sur une couche de gravure latéritique d'une épaisseur

de 10 cm. Cette nouvelle mesure permet de renforcer la sécurité des petits barrages en terre contre les effets du changement climatique. Un fossé drain sera aménagé au pied du talus pour collecter les eaux pluviales et les eaux d'infiltration en provenance du corps de la digue. Il sera revêtu en enrochements, un ouvrage triangulaire comme la butée de 1,50 m de largeur en gueule et 0,50 m de profondeur.

➤ **Crête de la digue**

La crête de la digue sera protégée par une couche de couronnement en matériaux graveleux latéritique compacté d'une épaisseur de 20 cm. Elle aura une pente transversale de 2 à 3% vers l'amont pour éviter les stagnations d'eau sur la crête et permettre leur ruissellement vers la retenue.

La protection de la crête de la digue sera renforcée par deux murets appelés murets de crête de 50*50 cm, construits le long de la crête amont et aval.

III.5. DIMENSIONNEMENT DU DEVERSOIR ET DES OUVRAGES ANNEXES

III.5.1. Caractéristiques du déversoir

Le déversoir est de forme trapézoïdale et à une position centrale de la digue. Il est calé à la cote 275,50 m. Les caractéristiques du déversoir sont les suivantes :

Longueur (m)	Hauteur (m)	Charge h (m)
225	3	0,7

III.5.2. Etude de stabilité du déversoir

L'étude de stabilité du déversoir consiste à vérifier s'il est résistant faceaux différentes forces qui lui sont soumises. Ces forces agissant sur le déversoir sont représentées sur la figure 13.

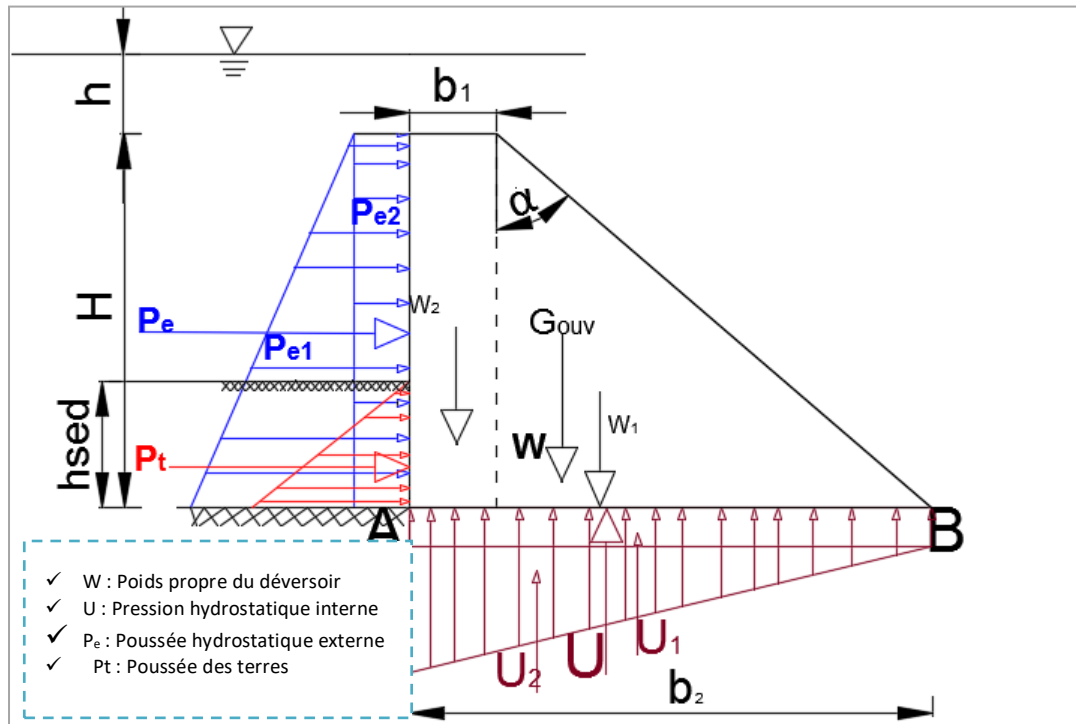


Figure 19: Les forces agissantes sur le déversoir

En pratique, le déversoir doit résister par son poids aux actions qu'il subit pour assurer sa stabilité externe (glissement et renversement) et interne (la règle du tiers central et la contrainte limite du béton). Les calculs de stabilité seront conduits comme dans le cas d'un barrage poids, en s'appuyant sur les paramètres suivants :

- ✓ b_1 : largeur en crête du seuil = 1,5 m
- ✓ Poids volumique de l'eau $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$
- ✓ Poids volumique du béton $\gamma_b = 24 \text{ kN/m}^3$
- ✓ Poids volumique des terres $\gamma_{sed} = 20 \text{ kN/m}^3$
- ✓ ϕ : Angle de frottement sédiment ($\tan \phi = 0,65$)
- ✓ Hauteur du déversoir $H = 3 \text{ m}$
- ✓ Hauteur des sédiments $h_{sed} = 1,5 \text{ m}$
- ✓ $\tan \phi = 0,65$ (contact béton – roche tendre).

Le tableau18 présente les résultats de la stabilité du déversoir.

Tableau 18 : Synthèse de la vérification de la stabilité du déversoir

Stabilité	Paramètres	Valeurs	Vérification
Glissement	Coefficient de sécurité F_g	1,20003	$F_g > 1,2$
Renversement	Coefficient de sécurité F_r	1,5009	$F_r > 1,5$
Règle du tiers central	Excentricité e	- 0,45	$b/6 = 1,11m$ $-b/6 \leq e \leq b/6$
Contraintes limite du béton	Contrainte maximale σ_{Max}	31,57 kPa	$\sigma_{Max} < F_{c28} = 6 \text{ MPa}$

Nous avons le coefficient de sécurité $F_g > 1,2$; le coefficient de sécurité $F_r > 1,5$; l'excentricité e comprise entre -1,11 et 1,11 et la contrainte limite maximale inférieure à F_{c28} . Toutes ces conditions étant vérifiées, on conclut que le déversoir est stable.

III.5.3. Dimensionnement du mur bajoyer

Le dimensionnement des murs bajoyers a été fait avec le logiciel CYPE et les caractéristiques géométriques du mur sont dans le tableau ci-dessous.

Tableau 19: les caractéristiques du mur bajoyer

Désignations	Valeurs
Hauteur du Mur	4,5 m
Epaisseur supérieure du mur	25,0 cm
Epaisseur inférieure du mur	45,0 cm
Epaisseur de la semelle filante	50 cm
Longueur du patin	270cm

III.5.4. Bassin de dissipation

Le bassin de dissipation a pour rôle de casser l'énergie de l'eau pour éviter son action érosive et de contenir le ressaut susceptible de se former à l'aval. Son calcul consiste à lui donner une longueur supérieure à la longueur du ressaut hydraulique à l'aval.

Le nombre de Froude calculé est de 8,62. Ce nombre étant supérieur à 4,5 et que la vitesse étant inférieure à 15 m/s, nous avons un bassin de type II. Il est constitué de blocs chicanes et de blocs de chutes. Les dimensions ci-dessous sont retenues pour le bassin de dissipation :

- profondeur à l'entrée du ressaut : 0,11 m ;
- profondeur à la sortie du ressaut : 1,32 m ;
- Epaisseur: 30 cm ;
- longueur du bassin : 4 m.

III.5.5. Ouvrage de prise

La prise d'eau a été dimensionnée avec le débit maximal de pointe (DMP) de l'oignon avec une

hypothèse de 5 heures d'irrigation par jour desservant 5 ha. C'est une prise à commande aval en fonte ductile de diamètre 300 mm calée à la cote 274.1 m. A cette cote, elle pourra dominer non seulement le périmètre à l'aval, mais aussi d'être hors de la boue jusqu'à l'horizon du projet.

III.5.6. Dispositif de suivi et d'entretien

➤ Dispositif de suivi

Dans le but de connaître à temps réel le niveau de remplissage de la retenue, et d'optimiser son utilisation, des échelles limnimétriques seront installées depuis le fond de la cuvette jusqu'aux berges. Des piézomètres seront aussi installés comme outils d'auscultations du barrage.

➤ Entretien de l'ouvrage

Nous proposons à cet ouvrage, un schéma d'organisation allant des bénéficiaires directes aux services techniques déconcentrés de la région. L'organisation proposée est de type « Comité de barrage » regroupant des représentants de tous les utilisateurs. Le comité sera chargé d'assurer la surveillance et l'entretien périodique du barrage, veiller au respect de la réglementation en matière d'eau (limites de servitudes, régulation de l'utilisation de pesticides, etc.), veiller au respect du calendrier cultural et de percevoir une redevance auprès des différents utilisateurs de l'eau qui servira aux dépenses d'entretien et au financement des réparations.

En outre, le comité pourra s'intégrer dans les organes de la gestion intégrée des ressources en eau au niveau local qu'est le Comité Local de l'Eau (CLE) qui est une fédération des associations et service intervenant dans la gestion de l'eau au niveau local. Ainsi, le comité à travers le CLE pourra bénéficier des subventions de la part de l'agence de l'eau du Mouhoun pour d'éventuels actions de protection et de préservation des ressources en eau.

IV. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

La Notice d'Impact Environnementale et Sociale (EIES) est une étude d'impact environnementale simplifiée. Elle a pour but d'identifier, d'évaluer et d'atténuer des incidences d'un projet sur l'environnement comportant des indicateurs fiables et pertinents.

C'est dans ce sens que les impacts potentiels du projet de construction du barrage de Sigouin ont été identifiés par le bureau d'études CAFI-B. Ces impacts ont fait l'objet d'analyse suivant

la grille d'évaluation de FECTEAU (annexe 6) afin d'apprécier leur importance (ADEOSI, 2018). Pour ce faire, un Plan de Gestion Environnementale et Sociale a été élaboré dont la mise en œuvre permettra d'atténuer les impacts négatifs et de bonifier les impacts positifs du projet. Il comprend les mesures d'atténuation, les acteurs de mise en œuvre, les indicateurs de suivi ainsi que l'estimation sommaire du coût des mesures proposées conformément aux dispositions du décret 2015-1187 du 22 octobre 2015 portant conditions et procédures de réalisations et de validations de l'évaluation environnementale stratégique de l'étude et de la notice d'impact environnemental et social. Suite à l'analyse du tableau, il ressort que les impacts négatifs existent. Cependant ces impacts restent mineurs et des mesures d'atténuations ont été proposées afin d'augmenter la plus-value du projet (annexe 6).

V. COUT DU PROJET

L'avant-métré a permis de définir les cubatures de la tranchée d'ancrage, de la digue et du béton pour le déversoir, ainsi que des surfaces de talus pour l'estimation des couches de pose.

Le devis estimatif des travaux se chiffre à **845 856 952FCFA (TTC)** soit **988 150,645FCFA TTC /ml**. L'avant-métré et le devis détaillé figurent enannexe7 et annexe 8.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION

Le présent projet de construction de barrage et d'aménagement hydro agricole, initié par l'Etat, à travers le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA), entre dans le cadre du Plan National de Développement Economique et Social (PNDES). Il devrait permettre à terme,

l'essor socio-économique de la région du Centre-Ouest en général et du village de SIGOGUIN en particulier. De l'étude, que nous venons de présenter dans les détails, l'ouvrage mobilisera 719 038 m³ d'eau et offrira aux populations locales une ressource en eau qui devrait faciliter les activités actuelles et en susciter de nouvelles. Il appartiendra aux bénéficiaires, de s'approprier l'ouvrage et de s'impliquer dans sa gestion, afin de rentabiliser au mieux le potentiel qu'il représente.

Cependant, le présent projet n'est qu'une étape. La pleine exploitation de la ressource nécessite de passer à une seconde phase, qui est la mise en œuvre du périmètre. Dans le corps de l'étude, nous avons abordé la question en définissant le potentiel exploitable en terre à l'aval, ainsi que les solutions possibles à partir de la retenue : maraîchage de contre-saison. Ces activités cadrent avec les habitudes des populations locales, ce qui devrait faciliter la mise en œuvre et l'effectivité du périmètre aménagé. Un avant-projet détaillé devra être mené à ce sujet afin de statuer sur la conception de l'aménagement et de proposer un dimensionnement final pour le réseau d'irrigation.

A terme, le présent projet nous a non seulement permis de mettre en application l'ensemble de nos acquis et compétences en sciences et techniques de l'ingénieur, mais aussi et surtout de nous frotter à un cas tangible : une expérience riche que nous attendons mettre au service de nos populations.

RECOMMANDATIONS

Le présent projet de réalisation, économiquement et techniquement viable, ne doit pas se limiter à la simple exécution. Pour qu'il soit une réussite, il est nécessaire que les parties prenantes mènent ensemble des actions ciblées et concertées.

Une fois l'ouvrage réalisé, il est primordial de mettre en application un dispositif d'entretien de l'ouvrage. Le barrage de SIGOGUIN se range dans la catégorie des petits barrages et ne nécessite donc qu'un suivi léger.

Pour cela, les exploitants de la zone veilleront à constituer un comité de surveillance et d'entretien qui héritera d'un certain nombre de prérogatives sous les directives de l'Agence de l'Eau du Mouhoun :

- un suivi de la limnimétrie de la retenue par un recrutement d'un lecteur d'échelle ;

- l'observation régulière de l'ouvrage par le Comité d'Usager de l'Eau (CUE) afin qu'il détecte rapidement les défauts visibles de l'ouvrage (présence d'arbres sur les talus de la digue, détériorations, fissures, inégalités de tassement, fuites, éboulements, érosion régressives...) ;
- surveillance par le CLE du respect de la bande de servitude à l'aval de la digue;
- réaliser des digues de protection sur les affluents alimentant la cuvette pour réduire les effets d'ensablement dans la cuvette (Commune) ;
- appliquer la taxe de prélèvement sur l'eau (préleveur payeur et pollueur payeur).

Il appartient également aux autorités communales de s'investir dans la gestion de l'ouvrage, d'élaborer, en accord avec les villages concernés, les modalités de sa gestion.

Enfin, même si le barrage a une seconde vocation qu'est l'abreuvement des animaux, il appartient aux autorités en charge (Conseil Régional du Centre-ouest et ses démembrements) d'envisager au plus tôt sa première vocation qu'est l'aménagement du périmètre irrigué prévu en aval.

BIBLIOGRAPHIE

ADEOSSI, G. (2018). *Etude d'impact environnemental et social*.

Bernard CHUZEVILLE. (1990). *Hydrologie Tropicale et Appliquée*.

BOUBE, B. (2014). *Bases d'irrigation*.

CAFI-B SARL. (2020). *Etudes d' Avant-Projet détaillé (APD) des travaux de construction du barrage de Sigoguin dans la commune de Koudougou (province du Boulkiemde, région*

du Centre-ouest).

COMPAORE, M. L. (1996). *Cours de Barrage.*

El Hafid, D. (2018). *Quantification De L'érosion Hydrique En Utilisant Le Modèle Rusle Et
Déposition Intégrée Dans Un Sig. Cas Du Bassin Versant De L'oued Isly (Maroc
Oriental)* [Review of *Quantification De L'érosion Hydrique En Utilisant Le Modèle
Rusle Et Déposition Intégrée Dans Un Sig. Cas Du Bassin Versant De L'oued Isly
(Maroc Oriental)*, par B. Akdim].

FAO. (1998). *Crues et apports Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports
annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale
sèche.*

KARAMBIRI, H., & GUEYE, I. (2007). *Petits barrages en terre.*

LO, M. (2016). *Évacuateurs de crues et ouvrages annexes.*

LO, M. (2019). *Cours de barrage.*

MAURICEDURAND, J., & ROYET, P. (1998). *Techniques des petits barrages en Afrique
sahélienne et Equatoriale.*

MOUSSA, A. (2010). *Cours de Barrage.*

Renard. (1997). *Predicting soil erosion by water—A guide to conservation planning with the
Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).*

ROOSE, E. (1997). *Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de
l'Isser (Tlemcen), Article, 1ères journées d'étude sur les agricultures de montagne,
Mascara, Algérie.*

Wischmeier. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses : A Guide to Conservation Planning,*

USDA Science and Education Administration, Hyattsville, Maryland, USA. 62 p.

YONI, E. (2019). *Projet d'Eau Potable et d'Assainissement en Milieu Rural (PEPA-MR) dans
les Régions du Centre-Sud et du Centre-Ouest (Province de la Sissili)(PEPA-MR).*

ANNEXES

ANNEXE 1 : SIMULATION DU VOLUME DU BARRAGE

A partir des données topographiques, les surfaces ainsi que les volumes ont été calculés entre les côtes 272,5m et 277 m. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Côtes(m)	Hauteurs(Hi)	Surface Si(m ²)	Volume Vi(m ³)	Vcum(m ³)
272.5	0	0.00	0.00	0.00
273	0,5	20469.508	5117.377	5 117
273.5	1	103351.15	30955.1645	36 073
274	1,5	207412.029	77690.79465	113 763
274.5	2	326208.34	133405.0923	247 168
275	2,5	471890.906	199524.8116	446 693
275.5(PEN)	3	617486.589	272344.3738	719 038
276	3,5	823761.25	360311.9596	1 079 350
276.5	4	1120456.28	486054.3825	1 565 404
277	4,5	1244865.53	591330.4526	2 156 734

ANNEXE 2 : ETUDE PLUVIOMETRIQUE

➤ Données des pluies annuelles et maximales journalières de la station de Koudougou (mm)

Année	Pluviométrie maximale journalière (mm)	Pluviométrie annuelle(mm)
1977	39.6	707.3
1978	46.4	671.3
1979	73.5	671.5
1980	34.8	600.9
1981	111.4	735.8
1982	24.3	553.2
1983	52.5	616.8
1984	26	720.5
1985	28.5	711
1986	34.5	899.2
1987	26.7	802.4
1988	30.8	847.9
1989	49.5	812.9
1990	59.2	648.1
1991	52.5	885.3
1992	29.3	823.3
1993	71.9	864.4
1994	53	961.1
1995	38.8	862
1996	28.8	716
1997	41	713.6
1998	42.4	711.8
1999	46	1012.7
2000	27.6	701.2
2001	51.6	827.9
2002	42.4	630.2
2003	78.8	950.3
2004	86.2	782.8
2005	52.3	784
2006	115.8	782.4

Année	Pluviométrie maximale journalière (mm)	Pluviométrie annuelle(mm)
2007	122.9	901.4
2008	46	904
2009	87.1	1003.7
2010	71	835.3
2011	70.5	593
2012	64.8	508.8
2013	51.8	580
2014	61.7	747.1
2015	62.3	964.6
2016	62	958.5

➤ **Détermination des quantiles**

- Pluviométrie maximale journalière

Période de retour (ans)	Fréquence	Pluies maximales journalières (mm)	Caractéristiques
100.0	0.99	131.00	Années humides
50.0	0.98	118.00	
20.0	0.95	100.00	
10.0	0.90	86.5	
5.0	0.80	72.1	
2.0	0.50	50.4	Année moyenne
5	0.20	34.3	Années sèches
10	0.10	27.4	
20	0.05	22.4	
50	0.02	17.3	
100	0.01	14.2	

• Pluviométrie annuelle

Période de retour (ans)	Fréquence	Pluies annuelles (mm)	Caractéristiques
100.0	0.99	1080.00	Années humides
50.0	0.98	1040.00	
20.0	0.95	991.00	
10.0	0.90	943.00	
5.0	0.80	885.00	
2.0	0.50	775.00	Année moyenne
5	0.20	664.00	Années sèches
10	0.10	607.00	
20	0.05	559.00	
50	0.02	505.00	
100	0.01	469.00	

ANNEXE 3 : ETUDE HYDROLOGIQUE

• Caractéristiques du bassin versant

Les limites du bassin versant ont permis de déterminer le périmètre P et la surface S que sont :

- S= 210,51 km²
- P=78,5 km

• L'Indice de compacité K_G

L'indice de compacité ou le coefficient de forme ou encore le coefficient de Gravelius, se calcule de la manière suivante:

$$K_G = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{S}} \quad K_G = 1,51$$

La valeur de K_G est supérieure à 1,5 et on déduit que le bassin versant a une forme allongée ; il est 5 fois plus long que large.

• Longueur du rectangle équivalent

C'est la longueur qu'aurait un rectangle de même dimensions (surface S et périmètre P) que le

bassin versant. Elle est calculée par la formule suivante :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4} \quad L=32,9\text{Km}$$

- Pente moyenne Imoy

C'est le rapport de la dénivelée entre les altitudes maximale et minimale du bassin versant et la racine carrée de la superficie du même bassin versant. Elle est calculée de la manière suivante :

$$I_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{\sqrt{S}} = 3,65 \text{ m/km}$$

- Pente longitudinale

$$I = \frac{26}{\sqrt{S}} \quad I = 1,79\text{m/km}$$

La pente longitudinale du bassin est inférieure à 5 m/km. Selon la classification des bassins versant en fonction de la pente de l'ORSTOM, le bassin versant du barrage de Sigoguin est de classe R2 (pente faible).

- Hypsométrie du bassin versant

Après la délimitation du bassin versant et génération des courbes de niveau, nous avons procédé au calcul des pourcentages des surfaces entre des tranches d'altitude avec le logiciel ArcGIS et les résultats se présentent comme suit :

Côtes(m)	Surfaces partielles	Pourcentage cumulé (%)
273	13.91209575	100.00
283	21.25379568	93.39
289	29.86389576	83.29
295	36.39128768	69.10
301	30.03086386	51.81
306	30.15486097	37.54
311	23.9716585	23.21
316	15.05712947	11.82
321	8.315556607	4.66
326	1.494644033	0.71

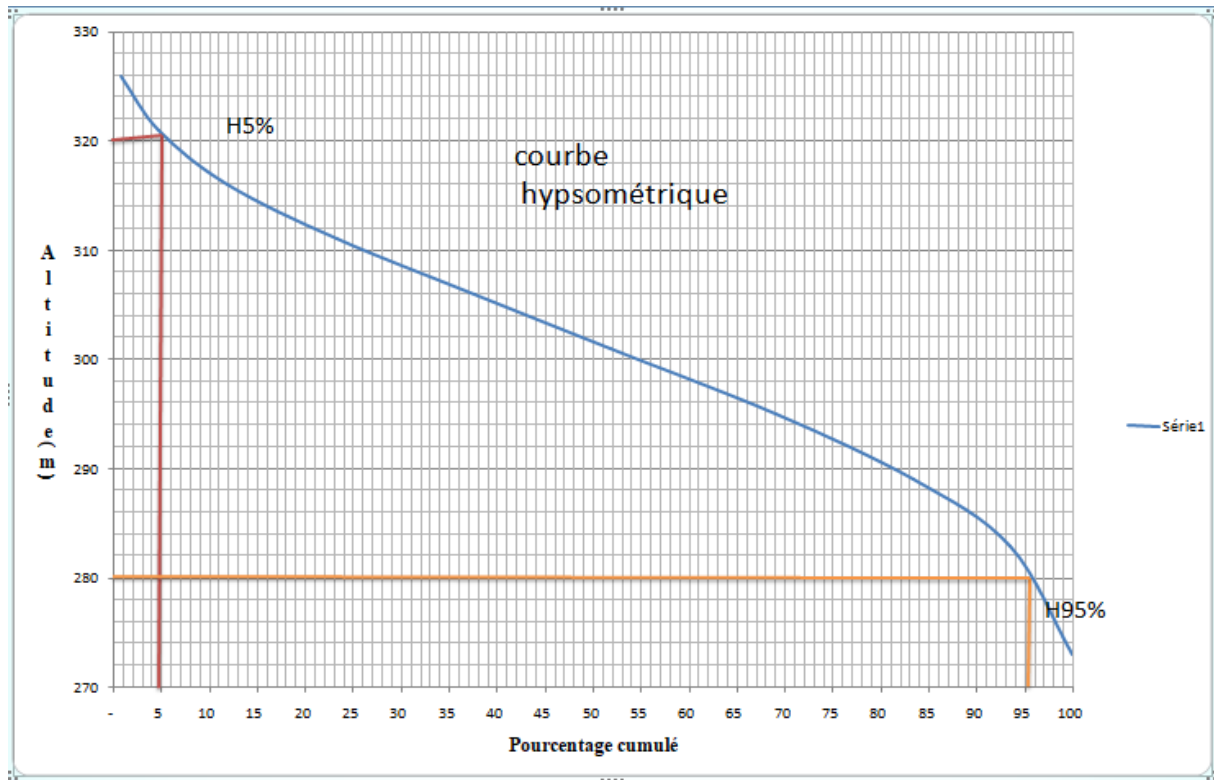


Illustration: Courbe hypsométrique

A partir de la courbe hypsométrique, les altitudes caractéristiques ci-dessous sont déterminées :

Altitudes caractéristiques	Valeur (m)
Altitude à 5% de la surface du bassin $H_{(5\%)}$	320
Altitude à 95% de la surface du bassin $H_{(95\%)}$	280
Altitude médiane $H_{(50\%)}$	302
Altitude maximale $H_{\max}$	326
Altitude minimale $H_{\min}$	273

Le calcul de l'indice global de pente donne :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \quad I_g = 1,21m/km$$

La pente transversale (I_t) du bassin a été obtenue par une moyenne des pentes transversales calculées en huit (6) points différents (Tableau ci-dessous).

Détermination de la pente transversale moyenne

Points	1	2	3	4	5	6	Moyenne
It (m/km)	8,85	11,27	12,49	10,2	14,9	14,1	11,9

$$\frac{(I_t - I_g)}{I_t} = \frac{(11,9 - 1,21)}{11,9} = 0,89$$

Le calcul du rapport entre (It-Ig) et It donne 0,89 soit plus de 89% qui est largement supérieure à 20%. On calcule alors un indice global de pente corrigé (Igccorr) qui vaut :

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

avec :

- n = 2 pour L < 5 km,
- n = 3 pour 5 km < L < 25 km,
- n = 4 pour 25 km < L < 50 km
- n = 6 pour L > 50 km

Dans notre cas, L = 32,9 km, n = 4, d'où

$$I_{gccorr} = 3,9m/km$$

• Densité de drainage Dd

La densité de drainage est le rapport entre la longueur totale des cours d'eau dans le bassin versant et de la superficie de celui-ci. La longueur totale des cours d'eau est déterminée par le logiciel ArcGIS, elle vaut Lt=214,34km

$$D_d = \frac{\sum l_i}{S}$$

$$D_d = 1,018km/km^2$$

• Dénivelé spécifique Ds

C'est le produit de l'indice global des pentes Ig par la racine carrée de la superficie S du bassin versant.

$$D_s = I_{gccorr} \times \sqrt{S}$$

$$D_s = 56,58m$$

Cette valeur est comprise entre 50 et 100 m et d'après la classification des reliefs en fonction de la dénivelée spécifique selon l'ORSTOM, le relief du bassin versant est modéré.

• Classe d'infiltrabilité du bassin versant

Le substratum du bassin est composé de roche imperméable d'une part (Granite, Argile,) et

perméables d'autre part (Sable). Ce contexte géologique montre que le bassin est sur une assise relativement imperméable ; par conséquent, il est de la classe d'infiltrabilité RI.

En combinant la classe de relief du bassin (P2) et sa classe d'infiltrabilité (RI), on en conclut que le bassin versant du barrage de Sigoguin est de type P2/RI.

- **Prédétermination de la crue de projet**

Détermination du coefficient d'abattement A

$$A = 1 - \left[\frac{161 - 0,042 \times \overline{P_{an}}}{1000} \times \text{LogS} \right] \quad A = 0,70$$

- **Détermination du coefficient de ruissellement de la crue décennale**

Méthode ORSTOM

Pour une précipitation décennale ponctuelle P_{10} différente de 70 et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissellement Kr_{10} est faite par interpolation linéaire entre les valeurs de Kr_{70} et de Kr_{100} . Ces valeurs sont déterminées graphiquement à l'aide de la méthode analytique des formules définies comme suit :

$$Kr_{70} \text{ ou } Kr_{100} = \frac{a}{(S + b)} + c \quad \text{en régime tropicale sèche}$$

Pour une classe d'infiltrabilité P2 (RI) et un indice global de pente compris entre 3 et 7, on détermine les coefficients

Pour $I_g = 3 \text{ m/Km}$, on a :

Kr70			
a	b	c	a
150	20	15	200
15.65			

Pour $I_g = 7 \text{ m/Km}$, on a :

Ig	Kr70			
	a	b	c	
7	200	20	18.5	
	19.36			

- **Détermination du temps de base T_{b10} .**

Pour déterminer la valeur de T_{b10} , nous allons d'abord procéder par interpolation logarithmiques sur les superficies encadrant la superficie de notre bassin entre les temps de base correspondant

puis par interpolation linéaire sur les valeurs de l'indice de pente (3 et 7) encadrant l'indice de pente du bassin versant. Les valeurs de K10 et de Tb10 sont les suivantes :

Ig	Kr70 (%)	Kr100 (%)	Kr10 (%)	Tb10 (mn)
3	15.65	17.83	16.85	2544.78
7	19.36	22.99	21.36	1260.32

Pour **Igcorr** = 3.9 m/Km, on aura :

Igcorr	Kr70 (%)	Kr100 (%)	Kr10 (%)	Tb10 (mn)
3.9	16.58	19.12	17.98	2223.6

- **Détermination du temps de montée Tm10.**

Dans la zone tropicale sèche, en toute première approximation et en l'absence de particularités physiographiques, on peut considérer que le temps de montée représente le tiers du temps de base: $Tm10 = 0,33 \times Tb10$ soit $Tm10 = 733,8min$

- **Détermination de la crue décennale par la méthode ORSTOM**

$$Q_{10} = m * Q_{r10} ; \text{ avec}$$

- m : coefficient de majoration qui est fonction de classe d'infiltrabilité du bassin et est **1,045** en zone tropicale sèche (entre 1,03 et 1,05)
- Q_{r10} : le débit de ruissellement décennal.

Le calcul du débit de ruissellement décennal et le débit décennal donne :

$$Q_{r10} = A * P10 * 110 * S * Tb10 \quad Q_{r10}[m^3/s] = 44,75$$

$$Q_{10} = m * Q_{r10} \quad Q_{10}[m^3/s] = 46,76$$

- **Détermination de la crue décennale par la méthode CIEH**

Elle a été établie sur la base d'un échantillon de 162 bassins versants répartis en Afrique francophone. Elle peut être utilisée sur des bassins allant jusqu'à 1000 km², relevant de la zone tropicale sèche ou sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. C'est une méthode statistique avec plusieurs variantes. Elle est donnée par la relation :

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

Avec ici :

- ✓ La surface du bassin versant : $S [Km^2] = 210,51$
- ✓ La pluie annuelle moyenne : $P_{an} [mm] = 775$
- ✓ L'indice global de pente : $I_g [m/km] = 3,9$
- ✓ Le coefficient de ruissellement décennal : $K_r [\%] = 17,9$
- ✓ a, s, p, i, k, d sont des coefficients d'ajustement.

Les équations 39 et 40 ont été utilisées.

Les résultats de calcul se présentent comme suit :

N°	a	s	k	i	$Q_{10}(m^3/s)$
39	0,41	0,425	0,923	-	57,33
40	0,254	0,462	0,976	0,101	58,03
Débit décennal retenu = Valeur Maximal de $Q_{10} (m^3/s) = 58,03$					

Les résultats obtenus avec les deux méthodes sont de **46,76** m^3/s pour la méthode ORSTOM contre **58,03** m^3/s pour la méthode CIEH. Pour des raisons de sécurité dans la suite, nous utiliserons le débit décennal de la méthode CIEH qui est **$Q_{10}[m^3/s] = 58,03$** .

• Détermination de la crue du projet

La crue du projet correspond à la crue centennale et est donnée par la méthode de GRADEX
 $Q_{100} = C * Q_{10}$.

Le coefficient C est calculé selon la formule de J.GRESILLON

$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} * \frac{(T_b/24)^{0,12}}{K_r}$	$C = 4,01$
$Q_{100}[m^3/s] = C * Q_{10}[m^3/s]$	$Q_{100}[m^3/s] = 231,54$

Pour notre projet nous retiendrons comme débit du projet, la valeur du débit de la crue centennale, soit **$Q_p = 231,54 m^3/s$** .

• Hydrogramme de crue

- Détermination du débit de rupture de pente (Q_r)

$\frac{Q_r}{Q_{max}} = \frac{2}{\alpha_{10}} * \frac{T_{b10} - \alpha_{10} * T_{m10}}{T_{b10} - 2 * T_{m10}}$	$Q_r[m^3/s] = 74,39$
---	----------------------

- Données pour le tracé de l'hydrogramme de crue

Q (m³/s)	0,0	231.54	74.39	0,0
Temps (min)	0,00	733.81	1467.62	2223.66

• Calcul de la crue de rupture de la digue

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

avec

$$\checkmark l=225 \text{ m}$$

$$\checkmark L=856 \text{ m}$$

$$\checkmark a=1.5$$

$$Q_{rup}[m^3/s] = 1125,8$$

Le débit de rupture vaut 4,86 fois le débit du projet.

ANNEXE 4. EVALUATION DES BESOINS

 Evaluation des besoins en eau pour l'agriculture

Les besoins nets en eau pour les 3 cultures sont les suivants :

		Initial e	Croissanc e	Mi- saison	Tardive & Récolte	Total Cycle (mm)
Tomate	Durée	30	40	45	30	145
	Kc	0.45	0.75	1.15	0.8	
	Besoin net	79.70	182.43	333.05	163.17	758.34
Haricot vert	Durée	20	30	30	10	90
	Kc	0.5	0.7	1.05	0.9	
	Besoin net	118.86	260.10	355.63	90.47	825.06
Oignon	Durée	15	25	70	40	150
	Kc	0.5	0.75	1.05	0.85	
	Besoin net	44.28	111.87	460.61	230.85	847.61

La spéculation la plus contraignante étant l'oignon, les besoins en eau pour l'irrigation sont calculés sur cette dernière. Ces besoins sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

	Jan	Fév	Mars	Av	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep	oct	Nov	Déc
Pluie mensuelle (mm/mois)	0	0	4.3	12.8	155.7	158.1	268.3	205	153.8	0.5	0	0
Pluie efficace (mm/mois)	0.00	0.00	0.00	0.00	100.56	102.48	190.64	140.00	99.04	0.00	0.00	0.00
ETP moyenne (mm/jr)	6.15	6.71	6.82	6.69	6.52	5.92	5.00	4.57	4.86	5.71	5.90	6.06
Besoin brute (mm)	417.2	456.5	320.6								73.79	144.5
Besoin brute (m³/ha)	4172.67	4565.01	3206.28	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	737.92	1445.02
Besoin brute pour 5ha (m³)	20863.36	22825.03	16031.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3689.58	7225.08

Evaluation des besoins en eau pour le cheptel

Le calcul de ces besoins a été fait en tenant compte de la proximité du barrage de Sigouin avec celui de Salbisgo (2km) et de Palogo (6km). Le cheptel considéré est environ 1570 têtes en considérant un rayon de 5 km. Le calcul des besoins en eau s'est fait par une hypothèse de 40 l/jour pour être en sécurité.

Evaluation des besoins en eau humains

Pour l'évaluation de ces besoins, une hypothèse de 20l/jr/personne est considérée comme prélèvements domestiques. La consommation en eau potable étant assurée par les eaux de forages. La population à l'horizon du projet (2050) a été estimée à 3185 personnes par projection à partir de la population actuelle (2 247 habitants) avec un taux d'accroissement de (1,17%).

Le total de tous les besoin est indiqué dans le tableau ci-dessous :

Besoins	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.
Jours	30	31	31	29	31
Pastoraux (m ³)	1 884	1 946.8	1 946.8	1 758.4	1 946.8
Humains (m ³)	7 398	7 644.6	7 644.6	6 904.8	7 644.6
Agricoles (m ³)	3 689.58	7 225.08	20 863.36	22 825.03	16 031.41
Totaux (m ³)	12 972	16 816	30 455	31 488	25 623

ANNEXE 5. ETUDE DE LA RETENUE

➤ La digue

Les différents calculs sur la digue sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Calcul de la revanche		
Désignation	Formule	Valeurs
Formule de Ch. MALLET et J.PACQUANT		
Coefficient de sécurité A	A	0.75
Hauteur du déversoir	Hr	3.0
volume de la retenue (hm ³)	v	0.72
Fetch f (km)	f	1.80
Vitesse des vagues V _v (m/s)	$V_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3}h_v$	2.13
Hauteur des vagues h _v (m)	$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\sqrt{f}$	0.95

Revanche (m)	$R = A * (h_v + \frac{V_v^2}{2g})$	0.88
Formule de Gaillard		
Revanche (m)	$R = 0,75 * h_v + \frac{V_v^2}{2g}$	0.942
Valeur retenue de la revanche	R	0.80
Calcul de la largeur en crête de la digue		
Désignation	Formules	Valeurs
Formule de KNAPPEN		
Revanche R (m)	R	0.80
Charge déversante sur seuil h (m)	h	0.70
Hauteur du déversoir Hr (m)	Hr	3.00
Hauteur du barrage ou de la digue Hb (m)	Hb	4.5
Largeur en crête Lc (m)	$lc = 1,65 * \sqrt{Hd}$	3.50
Formule de PREECE		
Revanche R (m)		0.80
Charge déversante sur seuil h (m)	h	0.70
Hauteur du déversoir Hd (m)	Hr	3.00
Hauteur du barrage ou de la digue Hb (m)	Hb	4.5
Largeur en crête Lc (m)	$lc = 1,1 * \sqrt{Hd} + 1$	3.33
Largeur en crête retenue Lc (m)	Lc	3.5
Calcul de l'épaisseur des enrochements		
Désignation	Formules	Valeurs
Hauteur des vagues hv (m)	hv	0.95
D50	D50	0.25
Epaisseur des enrochements e (m)	$e = 1.5 * D_{50}$	0.38
Epaisseur retenue des enrochements amont (cm)	e	40
Epaisseur retenue des enrochements aval (cm)	e	40
Calcul du débit de fuite et des dimensions du drain		
Désignation	Formule	Valeurs
Largeur en crête retenue Lc (m)	Lc	3.5

Pente des talus amont	m	1V/2.5 H
Pente du talus aval	m	1V/2H
Largeur de fondation (m)	$L_f = L_c + (m_{amont} + m_{aval}) \times H_b$	22
Longueur du drain horizontal (m)	$L_d = L_f / 4$	5.4
X (m)	$X = L_f - L_d$	16
d (m)	$d = X - 0,7b$	11.9
Yo (m)	$Y_o = \sqrt{([H_d]^2 + d^2)} - d$	0.37
Perméabilité du matériau argileux Kar (m/s)		1.0E-09
Débit de fuite (m2/s)	$q = K_{ar} \times Y_o$	3.72E-10
Perméabilité du sable grossier pour drain Kd (m/s)	Kd	1.00E-04
Epaisseur du drain ed (m)	$e_d = 2 \sqrt{(qL_d / k_d)}$	0.01
Epaisseur du drain retenu (cm)	e	20

➤ **Le déversoir et les ouvrages annexes**

Le mur bajoyer

La vérification du dimensionnement s'est fait avec le logiciel CYPE. Les résultats sont donnés ci-dessous :

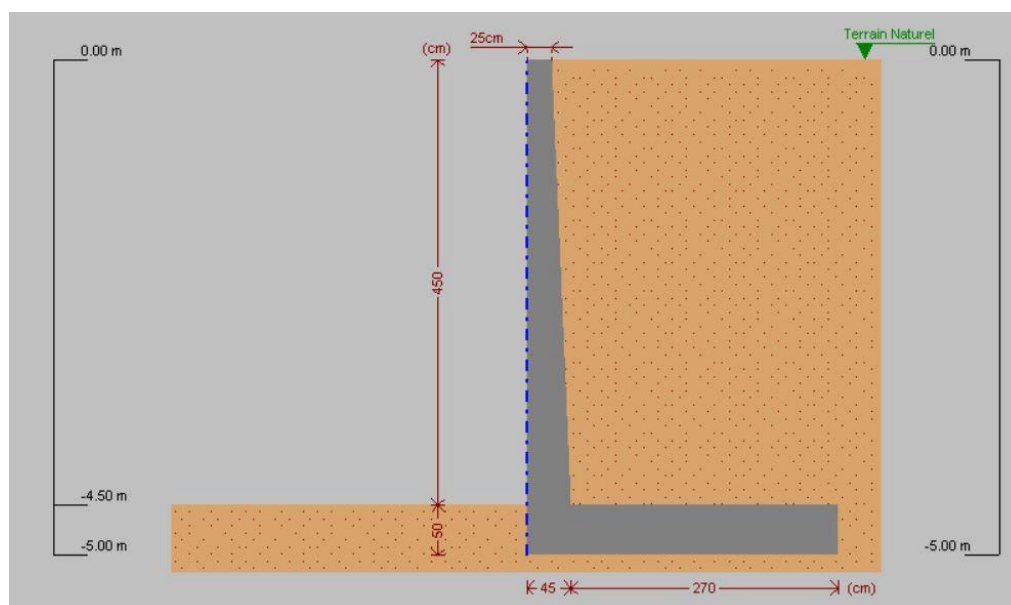
Référence: Mur: nouveau		
Vérification	Valeurs	État
Vérification au cisaillement en amorce du mur: Critère de CYPE	Maximum: 622.9 kN/m Calculé: 86 kN/m	Vérifiée
Epaisseur minimale du tronçon: Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"	Minimum: 15 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales: BAEL-91, Article A.7.2,5	Minimum: 4.5 cm	
- Arrière:	Calculé: 13.8 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 13.8 cm	Vérifiée

Référence: Mur: nouveau		
Vérification	Valeurs	État
Séparation maximale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Arrière:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face: <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i>	Minimum: 0.0015	
- Arrière (-4.50 m):	Calculé: 0.00167	Vérifiée
- Avant (-4.50 m):	Calculé: 0.00167	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face: <i>Article A.8.2,41 de la norme BAEL-91</i>	Calculé: 0.00167	
- Arrière:	Minimum: 0.00053	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 0.00025	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue: <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum: 0.001	
- Arrière (-4.50 m):	Calculé: 0.00212	Vérifiée
- Arrière (-2.70 m):	Calculé: 0.00106	Vérifiée
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue: <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum: 0.00096	
- Arrière (-4.50 m):	Calculé: 0.00212	Vérifiée
- Arrière (-2.70 m):	Calculé: 0.00106	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée: <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum: 0.001	
- Avant (-4.50 m):	Calculé: 0.001	Vérifiée
- Avant (-2.70 m):	Calculé: 0.00122	Vérifiée
Section minimale des armatures verticales de la face comprimée: <i>BAEL-91, Article A.8.1,21</i>	Minimum: 4 cm ² /m	
- Avant (-4.50 m):	Calculé: 4.52 cm ² /m	Vérifiée
- Avant (-2.70 m):	Calculé: 4.52 cm ² /m	Vérifiée

Référence: Mur: nouveau		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total: <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum: 0.05	
- (0.00 m):	Calculé: 0.00338	Vérifiée
- (-2.70 m):	Calculé: 0.00381	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum: 3 cm	
- Arrière:	Calculé: 8.4 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 22.6 cm	Vérifiée
Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Armature verticale Arrière:	Calculé: 20 cm	Vérifiée
- Armature verticale Avant:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1.2 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1 cm	Vérifiée
Vérification sous flexion composée: <i>Vérification réalisée par unité de longueur de mur</i>		Vérifiée
Vérification à l'effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum: 463.5 kN/m Calculé: 71.4 kN/m	Vérifiée
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum: 250 MPa Calculé: 244.166 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Base arrière:	Minimum: 0.44 m Calculé: 0.45 m	Vérifiée
- Base avant:	Minimum: 0.31 m Calculé: 0.35 m	Vérifiée

Référence: Mur: nouveau		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de l'ancrage de l'armature de base en couronnement: <i>Critère de CYPE</i>		
- Arrière:	Minimum: 16 cm Calculé: 16 cm	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 0 cm Calculé: 15 cm	Vérifiée
Section minimale longitudinale face supérieure poutre de couronnement: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: 2.2 cm ² Calculé: 2.2 cm ²	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
Information additionnelle:		
- Cote de la section de relation minimale 'pourcentage horizontal / pourcentage vertical' Arrière: -4.50 m		
- Cote de la section de relation minimale 'pourcentage horizontal / pourcentage vertical' Avant: -4.50 m		
- Section critique en flexion composée: Cote: -4.50 m, Md: 130.04 kN·m/m, Nd: 42.43 kN/m, Vd: 86.03 kN/m, Contrainte maximale de l'acier: 335.025 MPa		
- Section critique sous effort tranchant: Cote: -4.11 m		

Le schéma du mur bajoyer donné par le logiciel CYPE est le suivant :



ANNEXE 6: ETUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

➤ Analyse des impacts en phase de construction et d'exploitation

Phase du projet	Récepteur	Composante	Impact identifiés	Paramètres de caractérisation					Evaluation
				Nature	Interaction	Intensité	Portée	Durée	
Phase de construction et de travaux	Milieu physique	Eau de surface et souterraine	Amenuisement et pollution	Négatif	Directe	Moyenne	Locale	Court terme	Mineure
		Air	Pollution de l'air	Négatif	Directe	Moyenne	Locale	Court terme	Mineure
		Sols	Pollution des sols	Négatif	Directe	Moyenne	Ponctuelle	Court terme	Mineure
		Climat sonore	Modification du climat sonore	Négatif	Directe	Moyenne	Locale	Court terme	Mineure
	Milieu biologique	Flore	Dégradation végétation site projet	Négatif	Directe	Forte	Ponctuelle	Long terme	Modéré
			Dégradation végétation site d'emprunt	Négatif	Directe	Faible	Locale	Court terme	Mineure
		Faune	Destruction des habitats de la faune	Négatif	Directe	Faible	Locale	Long terme	Modéré
	Milieu humain	Santé	Risque de maladies respiratoires	Négatif	Directe	Moyenne	Locale	Court terme	Mineure
			Risque d'insécurité	Négatif	Directe	Faible	Ponctuelle	Court terme	Mineure
			Risques de propagation IST/VIH SIDA	Négatif	Indirecte	Faible	Locale	Long terme	Modéré
		Economie	Opportunité de commerce	Positif	Directe	Moyenne	Locale	Court terme	Modéré
		Emploi	Création d'emploi	Positif	Directe	Moyenne	Locale	Court terme	Modéré

Phase du projet	Récepteur	Composante	Impact identifiés	Paramètres de caractérisation					Evaluation
				Nature	Interaction	Intensité	Portée	Durée	
		Vie communautaire	Risque de perturbations des coutumes	Négatif	Directe	Mineure	Locale	Temporaire	Moyenne
Phase d'exploitation	Milieu physique		Risque de pollution	Négatif	Indirecte	Moyenne	Locale	Moyen terme	Modéré
			Disponibilité d'une d'eau pour les besoins et recharge de la nappe et amélioration de la productivité des forages environnants	Positif	Directe	Forte	Locale	Long terme	Majeure
		Sols	Risque de pollution	Négatif	Indirecte	Faible	Locale	Long terme	Modéré
		Flore	Mort de la végétation naturelles et des plantations ne supportant pas l'immersion prolongée,	Négatif	Directe	Faible	Locale	Long terme	Modéré
		Faune	Disparition de certaines espèces animales ne supportant pas l'eau	Négatif	Directe	Faible	Ponctuelle	Long terme	Mineure
			Recolonisation du site par la faune	Positif	Directe	Moyenne	Ponctuelle	Long terme	Modéré

Phase projet	du	Récepteur	Composante	Impact identifiés	Paramètres de caractérisation					Evaluation
					Nature	Interaction	Intensité	Portée	Durée	
				aquatique (batraciens, insectes, crocodiles etc) et les animaux sauvages						
			Emploi	Création d'emploi	Positif	Indirecte	Moyenne	Locale	Long terme	Modéré
				Emploi	Créatio n d'empl oi	Positif	Indirecte	Moyenne	Locale	Long terme
				Développement et intensification des activités agropastorales	Positif	Directe	Forte	Locale	Long terme	Majeure
			Développement local	Transformation locale des produits agricoles et piscicoles par les couches vulnérables (femmes)	Positif	Directe	Forte	Locale	Long terme	Majeure
			Domaine foncier	Risque d'inondation et perte des terres	Négatif	Directe	Faible	Locale	Long terme	Majeure
			Population bénéficiaires	Risque de conflits entre les usages et les usagers	Négatif	Directe	Forte	Locale	Long terme	Majeure

➤ Mesures d'atténuation et de compensation sur le milieu humain

Milieu humain concerné	Rappel de l'impact	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation
Santé/sécurité	Lésions corporelles, inaptitude temporaire ou permanente,	Nature : négative Importance : majeure	• Sensibiliser les ouvriers et les riverains sur l'effectivité de la maladie à corona virus 2019 (Covid 19) et l'application des gestes barrières ;
	Covid19 et autres maladies respiratoires, paludisme et autres maladies d'origine hydrique, mort.		• Sensibiliser les riverains sur les risques du paludisme et les maladies hydriques ;
			• Informer, conscientiser et éduquer les travailleurs sur les MST et le SIDA et les précautions nécessaires pour les éviter ;
			• Assurer le respect et le contrôle rigoureux des conditions d'hygiène sur le chantier ;
			• Assurer la gestion efficiente des déchets solides et liquides, par la réalisation des infrastructures sanitaires dans les habitations riveraines du plan d'eau telles que les fosses septiques ;
			• Assurer une meilleure gestion des eaux usées et des déchets des ouvriers, des huiles de vidanges sur le chantier
Socio-économie	Perte d'exploitations agricoles, de concessions et de lieu de culte	Nature : négative Importance : mineure	• Privilégier les personnes ayant perdu leurs champs dans l'attribution des parcelles aménagées ;
			• Apporter un appui en intrants agricoles aux personnes ayant perdus leurs champs afin de les permettre d'obtenir une bonne productivité dans

Milieu humain concerné	Rappel de l'impact	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation
			les nouveaux champs ;
			• Apporter une compensation financière aux personnes ou communautés qui auront leurs concessions/lieu de culte détruites
Habitat et patrimoine culturel	Modification du paysage local par la destruction de bâtiments, délocalisation de lieu de culte et de cimetière	Nature : négative Importance : moyenne	• Apporter une compensation financière aux personnes qui auront leurs infrastructures détruites.
Circulation	Collision avec les camions de transport des agrégats, le bétail et suppression de pistes	Nature : négative Importance : moyenne	• Renforcement de la sécurité routière par l'aménagement de déviations provisoires, par des signalisations additionnelles (panneaux de signalisation et d'indication) et par la limitation de vitesse ;
			• L'information et la sensibilisation des ouvriers (surtout les chauffeurs pour respecter la limitation de vitesses), des riverains et des usagers de la route (campagnes et panneaux de sensibilisation et d'information sur le déroulement des travaux) ;
			• Réaliser les travaux dans le temps imparti afin de limiter la période de perturbation des activités des riverains ;
			• Créer de nouvelles pistes.

ANNEXE 7 : AVANT-METRE

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	Quantité
I	Installation et repli du matériel de chantier		
1.1	Amené et repli du matériel	FF	1.00
1.2	Installation du chantier	FF	1.00
	Sous- total-I		
II	Tranchée d'ancrage et fondation		
2.1	Débroussaillage-décapage(min 20 cm)	m ²	11 626.78
2.2	Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m ³	3 842.38
2.3	Remblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m ³	3 842.38
	Sous-Total-III		
III	Digue		
3.1	Remblai compacté aux engins pour digue homogène	m ³	15 983.07
3.2	Sable pour filtre	m ³	0.00
3.3	Couche de pose filtrante talus amont (e=15cm)	m ³	505.70
3.4	Perré sec Amont (épaisseur = 25 cm)	m ²	3 371.33
3.5	Couche de pose filtrante talus aval (e=15cm)	m ³	419.96
3.6	Perré sec Aval (épaisseur = 25 cm)	m ²	2 799.74
3.7	Couche de couronnement crête	m ³	498.49
3.8	Déblai manuel travers remblai (muret de crête)	m ³	157.75
3.9	Maçonnerie de moellons pour muret de crête	m ³	157.75
3.10	Déblai manuel à travers remblai pour mur parapet	m ³	157.75
3.11	Béton ordinaire pour mur parapet	m ³	157.75
3.12	Déblai manuel pour drain de pied	m ³	340.74
3.13	Déblai manuel pour butée de pied	m ³	236.63
3.14	Enrochement à la main pour butée	m ³	236.63
3.15	Enrochement à la main pour drain	m ³	310.95
3.16	Barbacane pour mur parapet	ml	32.05
3.17	Polystirene pour parapet	m ²	16.03
	Sous-total-IV		
VI	Evacuateurs de crue		
4.1	Déblai aux engins pour fondation des murs bajoyers	m ³	98.56
4.2	Déblai manuel pour la bêche d'ancrage du déversoir	m ³	580.50
4.3	Déblai manuel pour le seuil final du déversoir	m ³	95.63
4.4	Déblai manuel pour le muret de blocage de l'enrochement	m ³	112.50
4.5	Déblai aux engins pour satilisation de l'emprise du déversoir	m ³	2 056.50
4.6	Béton ordinaire dosé à 150kg/m3 pour béton de propreté des murs bajoyers	m ³	8.96
4.7	Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour fondation des murs bajoyers	m ³	40.32
4.8	Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour les murs bajoyers	m ³	58.835

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	Quantité
4.9	Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m ³ pour déversoir	m ³	3387.9003
4.10	Béton ordinaire dosé à 300kg/m ³ pour le bassin de dissipation	m ³	278.21
4.11	Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m ³ pour muret de blocage	m ³	112.50
4.12	Sable pour drain filtrant du bassin de dissipation	m ³	135.00
4.13	Tuyau PVC D50 pour barbacanes du bassin de dissipation	ml	135.00
4.14	Joints waterstop pour les mur bajoyers et le déversoir	ml	137.00
4.15	Joints bitumineux pour coursier du déversoir	ml	308.20
4.16	Déblai pour enrochement en aval dus bassin de dissipation	m ³	900.00
4.17	Enrochement en aval du bassin de dissipation	m ³	900.00
	Sous-Total-IV-1		
V	Diguettes de protection		
5.1	Déblai pour diguettes de protection	m ³	240.00
5.2	Remblai pour diguettes de protection	m ³	1 320.00
5.3	Couronnement des diguette de protection	m ³	57.60
5.4	Perré maçonné pour diguette de protection	m ²	402.00
5.5	Perré sec pour diguette de protection	m ²	402.00
	Sous-Total-VI		
VI	Ouvrages de prise rive droite		
6.1	Béton de propreté conduite	m ³	0.64
6.2	Conduite en fonte de 300 mm de diamètre	m ³	11.00
6.3	Béton armé dosé à 300 kg/m ³ pour enrobage conduite		6.16
6.4	Déblai à la main pour bacs		3.41
6.5	Béton de propreté bacs		0.23
6.6	Béton armé coulé à plat pour radiers	ml	0.90
6.7	Béton armé coulé en élévation pour voiles et écrans	m ³	2.54
6.8	Vanne papillon Diamètre 300 et accessoires	u	1.00
6.9	Crépine Diamètre 300 (locale)	u	1.00
6.10	Caillebotis posé sur cornière pour bacs amont et aval (rive gauche et rive droite)	u	1.00
6.11	Echelle de descente dans les bacs de fabrication locale en aval	u	1.00
6.12	Perré maçonné pour protection des bacs	m ²	4.33
	Sous-Total-VII		
VII	Dispositif de suivi du barrage et balisage de la limite des PHE		
7.1	Echelle limnimétrique par unité de 1,00 m fabriquées en usine	ml	5.00
7.2	Bornage de la limite de plus hautes eaux	u	76.00
	Sous total-VII		

ANNEXE 8 : DEVIS DETAILLE

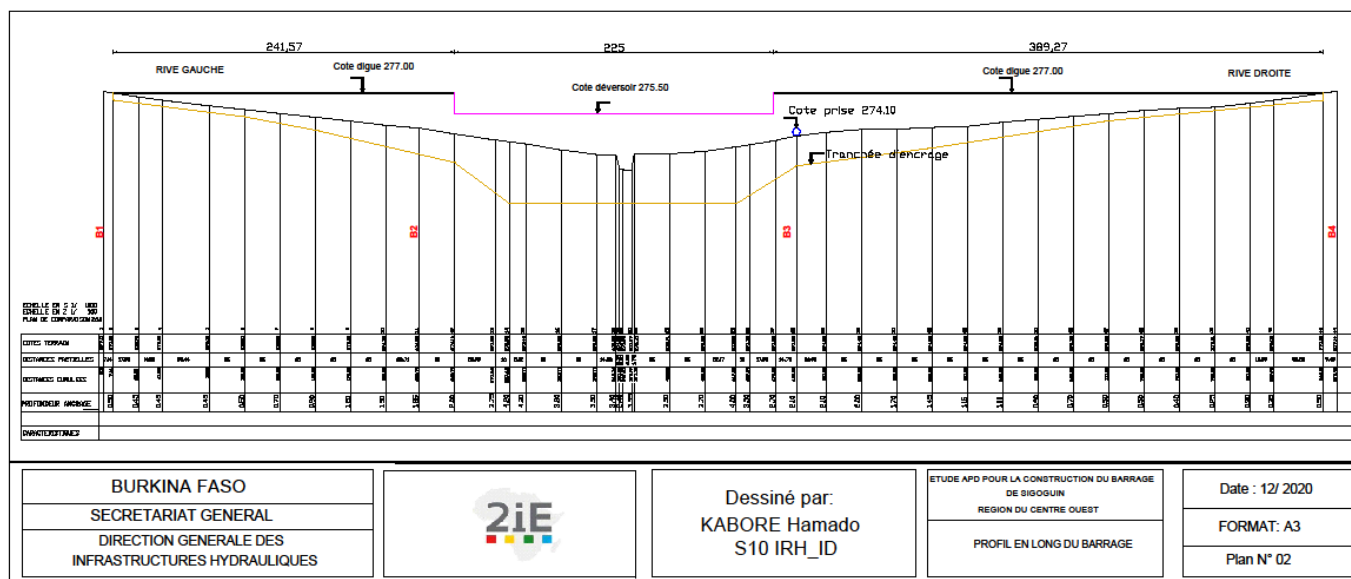
N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	Quantité	Prix Unit.	Prix Total
I	Installation et repli du matériel de chantier				
1.1	Amené et repli du matériel	FF	1	10 000 000	10 000 000
1.2	Installation du chantier	FF	1	10 000 000	10 000 000
	Sous- total-I				20 000 000
II	Tranchée d'ancrage et fondation				
2.1	Débroussaillage-décapage(min 20 cm)	m ²	11626.78	250	2 906 695
2.2	Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m ³	3842.3754	4 000	15 369 501
2.3	Remblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m ³	3842.3754	6 000	23 054 252
	Sous-Total-III				41 330 449
III	Digue				
3.1	Remblai compacté aux engins pour digue homogène	m ³	15983.067	7 000	111 881 471
3.2	Sable pour filtre	m ³	0	10 000	-
3.3	Couche de pose filtrante talus amont (e=15cm)	m ³	505.69919	5 000	2 528 496
3.4	Perré sec Amont (épaisseur = 40 cm)	m ²	3371.3279	10 750	36 241 775
3.5	Couche de pose filtrante talus aval (e=15cm)	m ³	419.96032	5 000	2 099 802
3.6	Perré sec Aval (épaisseur = 40 cm)	m ²	2799.7354	10 750	30 097 156
3.7	Couche de couronnement crête	m ³	498.49	7 000	3 489 430
3.8	Déblai manuel travers remblai (muret de crête)	m ³	157.75	2 500	394 375
3.9	Maçonnerie de moellons pour muret de crête	m ³	157.75	15 000	2 366 250
3.10	Déblai manuel à travers remblai pour mur parapet	m ³	157.75	2 500	394 375
3.11	Béton ordinaire pour mur parapet	m ³	157.75	161 670	25 503 443
3.12	Déblai manuel pour drain de pied	m ³	340.74	2 500	851 850
3.13	Déblai manuel pour butée de pied	m ³	236.625	2 500	591 563
3.14	Enrochement à la main pour butée	m ³	236.625	22 750	5 383 219
3.15	Enrochement à la main pour drain	m ³	310.94923	22 750	7 074 095
3.16	Barbacane pour mur parapet	ml	32.05	2 000	64 100
3.17	Polystyrene pour parapet	m ²	16.025	3 500	56 088
	Sous-total-IV				229 017 485
VI	Evacuateurs de crue				
4.1	Déblai aux engins pour fondation des murs bajoyers	m ³	98.56	4 000	394 240

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	Quantité	Prix Unit.	Prix Total
4.2	Déblai manuel pour la bêche d'ancrage du déversoir	m ³	580.5	2 500	1 451 250
4.3	Déblai manuel pour le seuil final du déversoir	m ³	95.625	2 500	239 063
4.4	Déblai manuel pour le muret de blocage de l'enrochement	m ³	112.5	2 500	281 250
4.5	Déblai aux engins pour saturation de l'emprise du déversoir	m ³	2056.5	4 000	8 226 000
4.6	Béton ordinaire dosé à 150kg/m ³ pour béton de propreté des murs bajoyers	m ³	8.96	53 750	481 600
4.7	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour fondation des murs bajoyers	m ³	40.32	190 830	7 694 266
4.8	Béton armé dosé à 350 kg/m ³ pour les murs bajoyers	m ³	58.835	190 830	11 227 483
4.9	Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m ³ pour déversoir	m ³	3387.9003	82 500	279 501 773
4.10	Béton ordinaire dosé à 300kg/m ³ pour le bassin de dissipation	m ³	278.208	161 670	44 977 887
4.11	Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m ³ pour muret de blocage	m ³	112.5	82 500	9 281 250
4.12	Sable pour drain filtrant du bassin de dissipation	m ³	135	10 000	1 350 000
4.13	Tuyau PVC D50 pour barbacanes du bassin de dissipation	ml	135	2 000	270 000
4.14	Joints waterstop pour les murs bajoyers et le déversoir	ml	137	10 000	1 370 000
4.15	Joints bitumineux pour coursier du déversoir	ml	308.2	3 000	924 600
4.16	Déblai pour enrochement en aval du bassin de dissipation	m ³	900	4 000	3 600 000
4.17	Enrochement en aval du bassin de dissipation	m ³	900	22 750	20 475 000
	Sous-Total-IV-1				391 745 662
V	Diguettes de protection				
5.1	Déblai pour diguettes de protection	m ³	240	4 000	960 000
5.2	Remblai pour diguettes de protection	m ³	1320	7 000	9 240 000
5.3	Couronnement des diguette de protection	m ³	57.6	7 000	403 200
5.4	Perré maçonné pour diguette de protection	m ²	402	14 795	5 947 590
5.5	Perré sec pour diguette de protection	m ²	402	10 750	4 321 500
	Sous-Total-VI				20 872 290
VI	Ouvrages de prise rive droite				

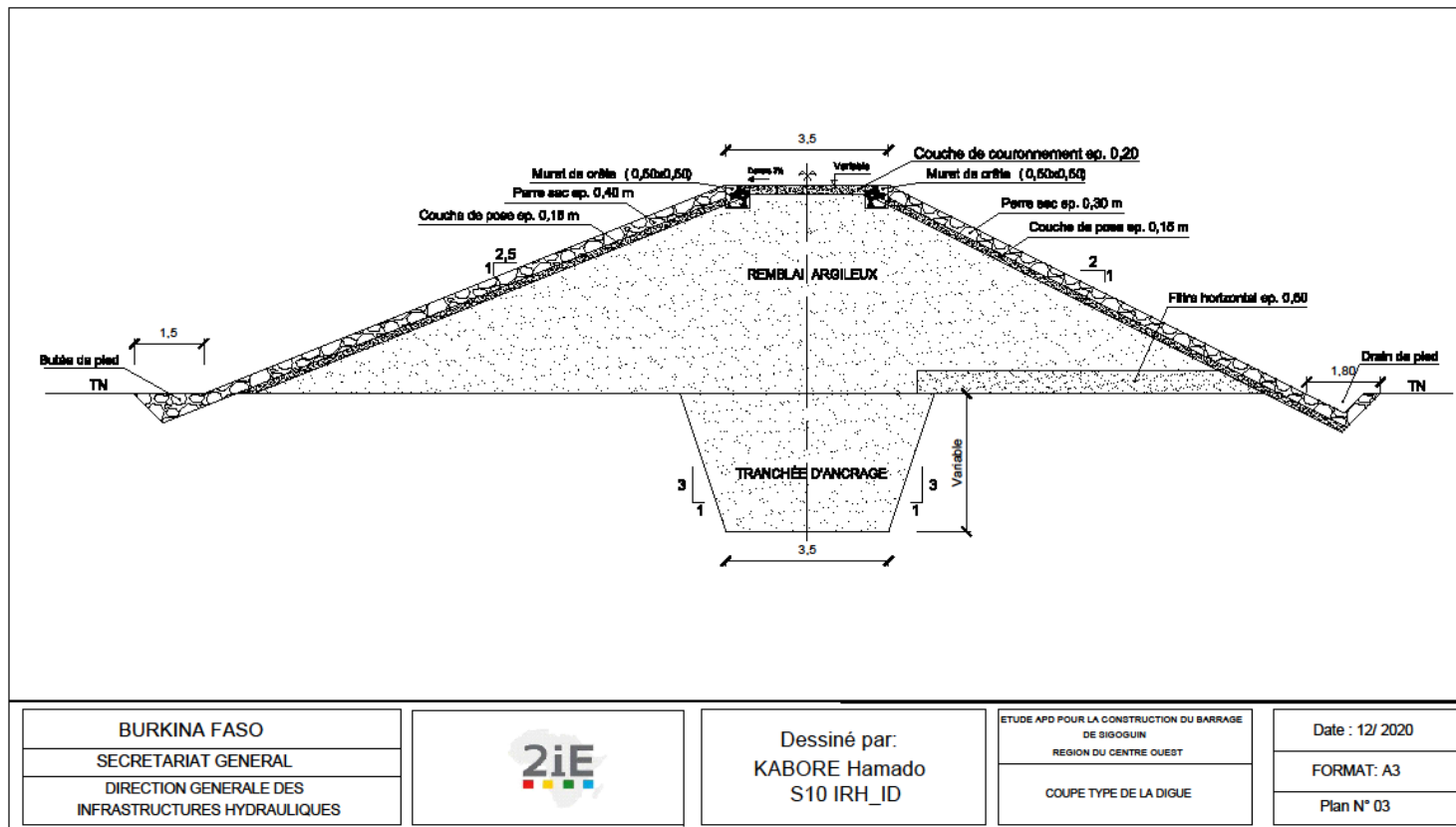
N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	Quantité	Prix Unit.	Prix Total
6.1	Béton de propreté conduite	m ³	0.64	85 000	53 975
6.2	Conduite en fonte de 300 mm de diamètre	m ³	11.00	175 000	1 925 000
6.3	Béton armé dosé à 300 kg/m ³ pour enrobage conduite	0	6.16	225 000	1 386 000
6.4	Déblai à la main pour bacs	0	3.41	4 000	13 640
6.5	Béton de propreté bacs	0	0.23	85 000	19 125
6.6	Béton armé coulé à plat pour radiers	ml	0.90	220 000	198 000
6.7	Béton armé coulé en élévation pour voiles et écrans	m ³	2.54	220 000	558 800
6.8	Vanne papillon Diamètre 300 et accessoires	u	1.00	1 500 000	1 500 000
6.9	Crépine Diamètre 300 (locale)	u	1.00	120 000	120 000
6.1	Caillebotis posé sur cornière pour bacs amont et aval (rive gauche et rive droite)	u	1.00	7 500	7 500
6.11	Echelle de descente dans les bacs de fabrication locale en aval	u	1.00	90 000	90 000
6.12	Perré maçonné pour protection des bacs	m ²	4.33	15 000	65 000
	Sous-Total-VII				5 937 040
VII	Dispositif de suivi du barrage et balisage de la limite des PHE				
7.1	Echelle limnimétrique par unité de 1,00 m fabriquées en usine	ml	5	65 000	325 000
7.2	Bornage de la limite de plus hautes eaux	u	76	100 000	7 600 000
	Sous total-VII				7 925 000
	TOTAL en Hors Taxes				716 827 926
	T.V.A.	18%			129 029 027
	TOTAL en T.T.C.				845 856 952



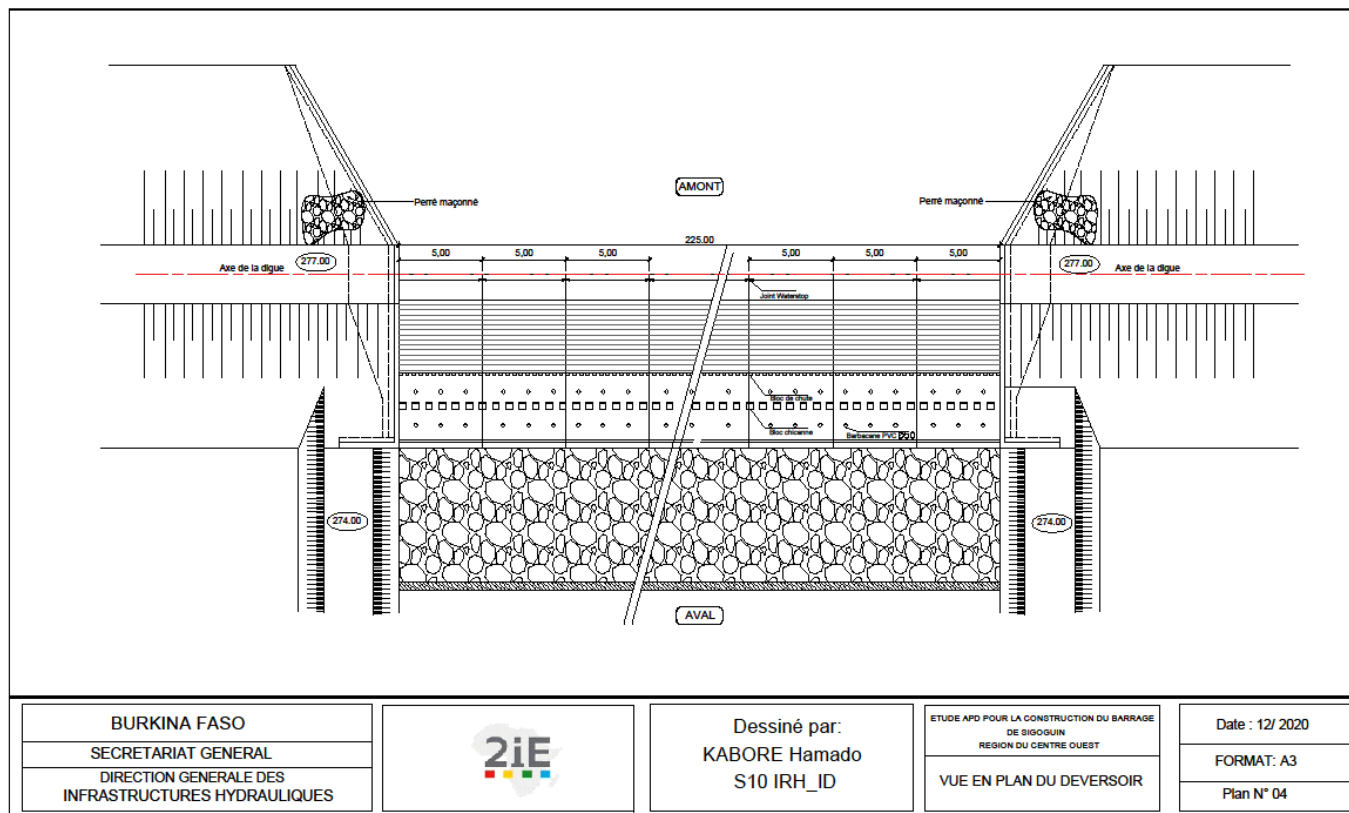
ANNEXE 10 : PROFIL EN LONG DU BARRAGE DE SIGOQUIN



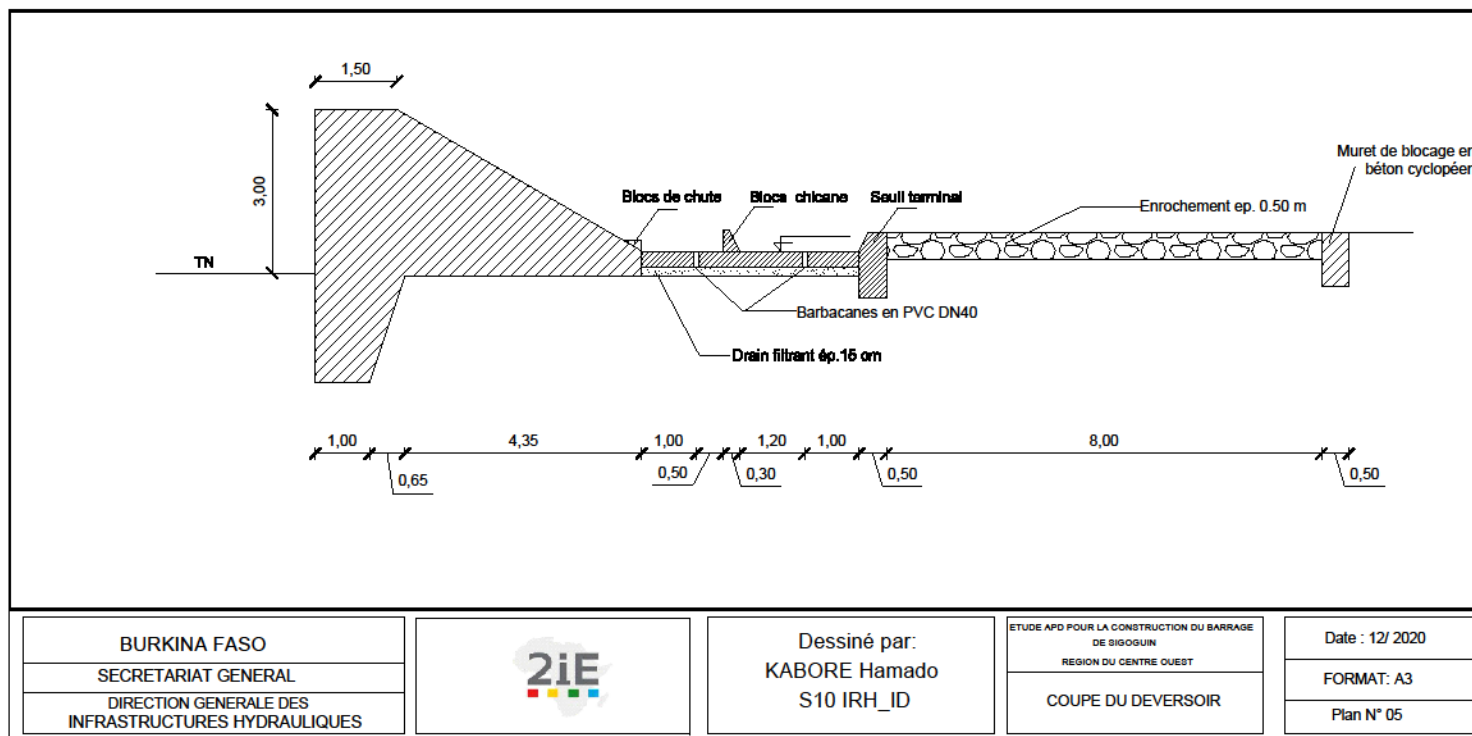
ANNEXE 11 : COUPE DE LA DIGUE DU BARRAGE DE SIGOQUIN



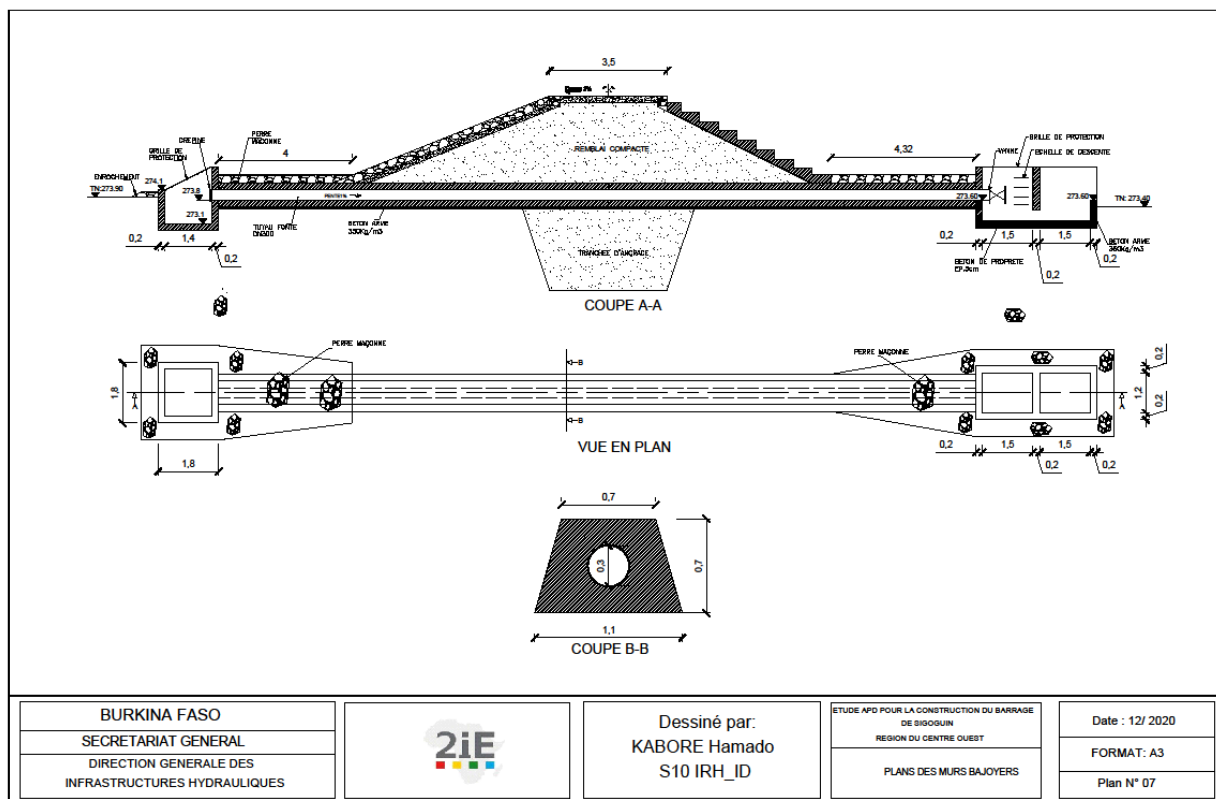
ANNEXE 12 : VUE EN PLAN DU DEVERSOIR



ANNEXE 13 : COUPE DU DEVERSOIR



ANNEXE 14 : OUVRAGES DE PRISE



ANNEXE 15 : LE MUR BAJOYER

