ETUDE TECHNIQUE DU BARRAGE DE DOUMBALA DANS LA COMMUNE DE DOUMBALA, REGION DE LA BOUCLE DU MOUHOUN, BURKINA FASO

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

SPECIALITE : GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le [date] par :

Sidbéwendin Ernest YAMPA (2018 0058)

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

Maître de Stage : SINARE Abdoul Kader, Ingénieur du Génie Civil, Directeur Technique de ERI-SARL

Structure d'accueil du Stage : **Société d'Etude et de Réalisation Industrielle (ERI-SARL)**

Jury d'évaluation du mémoire :

Président du Jury **:**

Membres et Correcteurs :

Promotion [2019/2020]

« Tout est grâces ! Je vis sans soucis »

DEDICACES

Je dédie ce document :

A mon père, feu YAMPA Mowoumean François qui nous a quitté depuis quelques années (27/08/2013) mais qui demeure dans mon cœur et dans ma vie à travers les valeurs qu'il m'a léguées.

A mon défunt grand frère Abbé Dakiswendé Siméon YAMPA (Wênd pa kiis d ye !) ta mission sur cette terre a pris fin sur la terre de Dablo à la forfaiture des terroristes (12/05/2019). Je ne pourrai me taire dans mes écrits oubliant ton éternel courage dans la persévérance. Ta devise **« la vérité dans la liberté »** reste gravée dans ma mémoire et je le porterai en ta mémoire ! Repose en paix et prie pour que ta débordante énergie demeure en nous !

A ma mère, Taringuétin Véronique KINDA, doublement et durement éprouvée mais qui reste toujours debout, prête pour des sacrifices. Longue et glorieuse vie à vous !

A mon épouse Sophie OUEDRAOGO qui a fait la preuve de patience, d'endurance et surtout pour sa compréhension et sa complicité durant cette formation ;

A mes enfants Wendinmalgdé Cyrill Elvis et Nomwendé Marie Pacem ;

A mes frères et sœurs qui au quotidien ne ménagent aucun effort pour que je ressente de la motivation dans mes études ;

A toute ma famille maternelle et paternelle ;

A tous mes amis qui m'ont soutenu tout au long de nos études.

REMECIEMENTS

« L'arbre ne pourra porter de fruits que s'il est entretenu » nous dit un adage.

Nos remerciements vont à l'endroit :

- de l'ensemble du corps professoral et administratif de 2iE, plus particulièrement tous ceux qui ont contribué à ma formation ;
- de mon Directeur de mémoire à 2iE, monsieur Moussa LO, Enseignant au Département Génie Civil et Hydraulique (GCH) pour sa disponibilité, son assistance et ses conseils tout au long du processus d'élaboration de ce mémoire ;
- de monsieur le Directeur Général de la Société d'Etude et de Réalisation Industrielle (ERI-SARL) monsieur SANA Ibrahim pour l'opportunité de stage qu'il a bien voulu nous accorder ainsi que pour l'accueil chaleureux, les conseils, l'écoute et la mise à ma disposition des moyens matériels et humains pour la réussite du stage ;
- de mon maître de stage, monsieur SINARE Abdoul Kader, pour son dévouement au travail et son encadrement sans faille tout au long du stage ;
- de tout le personnel de ERI pour l'accueil et surtout leur ouverture qui a facilité mon intégration durant le stage ;
- de tous ceux ou celles qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ma formation et à la réalisation de ce document.

RESUME

Le présent mémoire présente les résultats de l'étude technique de la réalisation du barrage de Doumbala au Burkina Faso. Cette étude rentre dans le cadre de la réalisation des barrages ayant pour but de promouvoir l'autosuffisance alimentaire et s'adapter aux effets du changement climatique.

Le barrage de Doumbala se situe à 5 km du chef-lieu de la commune de Doumbala et est alimenté par un bassin versant de 222 km^2. Sur le plan hydrologique, ce bassin versant peut apporter en année moyenne au moins 20 millions de m^3 et en année décennale sèche au moins 6,5 millions de m^3. Les études topographiques ont montré que la capacité du barrage est de 616 913 m^3 au plan des eaux normales s'étendant sur près 46 hectares. Cette quantité permet l'exploitation d'au moins 10 ha d'oignons et d'abreuver 17 000 bovins.

Lorsque cette retenue sera remplie, le surplus passera à travers un évacuateur de crue de type digue déversante. La digue aura une hauteur de 5 m et une largeur en crête 3,5 m.

Le site du barrage se site en zone sédimentaire. Les études géotechniques ont relevé des venues d'eau à 4 m de profondeur. L'axe de la digue traverse des couches sablo limoneuses et du limon sableux. Le bon sol se situe à des profondeurs pouvant atteindre 10 m. Pour exécuter la tranchée, deux options ont été proposées : la réalisation d'un tapis argileux et l'ancrage au bon sol d'assise. Le tapis argileux entraine un volume de remblai/déblai de 8321 m^3 tant dis qu'ancrer la fondation sur le sol d'assise naturel entrainera 27 906 m^3 de déblai/remblai. Le budget varie de **557 711 436** à **743 015 199** FCFA soit une variation de 33% selon l'option.

Mots Clés :

1 - Doumbala

2 - Digue deversante

3 – Drain filtrant

4 – Etude technique

5 – Tranchée d'ancrage

ABSTRACT

This thesis presents the results of the technical study of Doumbala dam. This study is part of the construction of dams to promote food self-sufficiency and adapt to the effects of climate change. The Doumbala Dam is located in the province of Kossi in Burkina Faso which is about 5 km from the municipal capital and it is sustained by a watershed of about 222.70 km2. Hydrologically, this watershed can produce at least 20 million m3 averagely in a year, and at least 6.5 million m3 in a dry period of 10-years. Topographical studies have also shown that the dam's capacity is 616,913.38 m3 in the normal water plane, spanning between 35.71 to 45.71 hectares. This amount of space allows the exploitation of 10 ha of onion and to water 17,000 cattle.

When this hold is filled, the surplus will pass through a flood drain of the dike type. That will have a height of 4.5 m and a ridge width 3.5 m.

The dam site is located in a sedimentary zone. Geotechnical studies have identified places of water 4 m deep. The axis of the dike crosses sandy loam and sandy silt. Good soil is found at depths of up to 10 m. Two options were proposed to execute the trench: the creation of a clay mat and the anchoring to the right seat. The clay carpet results in a cut/ embankment volume of 8,321 m3 as long as the old foundation on the natural foundation soil will cause 27,906 m3 of cut/ embankment. The budget varies from **557,711,436** to **743 015 199**FCFA, a variation of 33% depending on the option.

Keywords:

1 - **Doumbala**

2 - Tipping dike

3 - Filtering drain

4 - Technical study

5 - Anchor trench

FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE DOUMBALA

Tableau 1: Fiche technique du Barrage de Doumbala

1. LOCALISATION	Village :	Doumbala
	Province :	Kossi
	Département :	Doumbala
2. BASSIN VERSANT		
	Superficie du bassin versant (km²)	222,70
	Périmètre	87,90
	Longueur du cours d'eau principale	26,28
	Indice de compacité (K_G)	1,66
	Indice global de pente (Ig)	3,19
	Pente transversale	14,65
	Indice global de pente corrigé (Igcor)	6,03
	Débit de crue décennale Q10 (m3/s)	43,68
	Débit de crue centennale Q100 (m3/s)	157,21
	Pluviométrie moyenne (mm)	734,5
	Apport solide annuel (m3)	32 533
3. RETENUE		
	Cote Retenue Normale (m)	303,75
	Cote Plus Hautes Eaux (m)	304,5
	Volume à la cote Retenue Normale (m3)	616 913,38
	Surface plan d'eau à la cote Retenue Normale (ha)	45,71
	Surface plan d'eau à la cote PHE (ha)	66,81
4. DIGUE		
	Type	Homogène en argile

	Cote de la crête (m) / Crète parapet	305,25 / 305,75
	Hauteur maximale (m)	5
	Longueur en crête (m)	692 (y compris déversoir)
	Largeur en crête (m)	3,5
	Pente talus amont	1V/2,5H
	Protection talus	perré sec
	Pente talus aval	1V/2H
5. EVACUATEUR DE CRUES		
	Type	Déversoir –routier
	Position	Légèrement décalée en rive droite
	Débit de dimensionnement (m3/s)	120
	Charge maximale sur le seuil (m)	0,75
	Cote de calage (m)	303,75
	Largeur déversante (m)	100
	Longueur bassin de dissipation	4,00
	Type de bassin de dissipation	II
6. PRISE D'EAU ET VIDANGE		
	Type	Conduite en en fonte avec bacs amont et aval
	Diamètre de la conduite (mm)	Fonte DN 300
	Longueur de la conduite (m)	30
	Diamètre du robinet vanne (mm)	200
	Cote d'entrée (m)	301,00
	Cote de sortie (m)	300,70
Cout projet	Montant HT-HD (FCFA) tapis argileux	Cinq cent cinquante-sept millions sept cent onze mille quatre cent trente-six (**557 711 436)** **Soit 904F/m^3**
	Sol d'assise	Sept cent quarante-trois millions quinze mille cent quatre-vingt-dix-neuf (**743 015 199**) **Soit 1204F/m^3**

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE	:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
ANAM	:	Agence Nationale de la Météorologie du Burkina
CIEH	:	Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
CIGB	:	Comité International de Grands Barrages
DGIH	:	Direction Général des Infrastructures Hydrauliques
EIER	:	Ecole Inter-Etats d'Ingénieur de l'Equipement Rural
ERI	:	société des Etudes et de Réalisation Industrielle
ETM	:	Evapotranspiration Maximale
ETP	:	Evapotranspiration Potentielle
FAO	:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GCH	:	Génie Civil et Hydraulique
GPS	:	Global Positioning System
IC	:	Intervalle de Confiance
IPS	:	Indice de Pluie Standardisée
K_G	:	Coefficient de GRAVELUS ou Indice de compacité
MEA	:	Ministère de l'Eau et de l'Assainissement
NIES	:	Notice d'Impact Environnemental et Social
ORSTOM	:	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PCD	:	Plan Communal de Développement
PEN	:	Plan d'Eau Normale
PGES	:	Plan de Gestion Environnementale et Sociale
PHE	:	Plan de Hautes Eaux

Table de matière

DEDICACES i
REMECIEMENTS ii
RESUME iii
ABSTRACT iv
LISTE DES TABLEAUX x
LISTE DES FIGURES xii
ILLUSTRATIONS xiii
INTRODUCTION 1
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL 2
II. OBJECTIFS DE L'ETUDE 3
II.1. Objectif général 3
II.2. Objectifs spécifiques 3
III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 4
III.1. Localisation de la zone d'étude 4
III.2. Aspects physique et naturel de la zone d'étude 6
III.2.1. Le relief et les sols 6
III.2.2. Le climat et la végétation 6
III.2.2. L'hydrographie 7
III.3. Synthèse des données météorologiques 7
IV. MATERIELS ET METHODES 8
IV.1. Matériels 8
IV.2. Méthodes 8
IV.2.1. Etudes pluviométriques 8
IV.2.1.1. Détermination des indices de pluies standards 8
IV.2.1.2. Détermination des quantiles 9
IV.2.2 Etudes Topographique 10
IV.2.3. Etudes Géotechniques 10
IV.2.4. Etudes hydrologiques 10
IV.2.3. Etude de la cuvette 16
IV.2.4. Conception et dimensionnement du barrage 19
IV.2.5 Notice d'impact environnemental et social 25
V. RESULTATS ET DISCUSSIONS 26
V.1 Synthèse des études de bases 26
V.2 Etude pluviométrique. 27
V.3 Etude Hydrologique 30
V.3.1 Caractéristiques du bassin versant 30

V.3.2 Prédétermination de la crue de projet 33
V.4. Etude de la retenue 36
V.4.1. Courbe hauteur – volume / Hauteur – Surface 36
V.4.2. Evaluation des apports liquides 39
V.4.3. Evaluation des dépôts solides 40
V.4.4. Evaluation des pertes et des besoins 41
V.4.5. Evaluation des besoins en eau 42
V.4.6. Courbe d'exploitation 43
V.5. Conception et dimensionnement du barrage 44
V.5.1. Digue 44
V.5.2. Stabilité des pentes de talus 46
V.5.3. Protection des talus 46
V.5.4. Tranchée d'ancrage de la digue 47
V.6. Dimensionnement de l'évacuateur des crues (déversoir et des ouvrages annexes) 48
V..6.1. Le déversoir 48
V.6.2. Etude de la stabilité du déversoir 49
V.6.3. Les diguettes de protection 50
V.6.4. Le bassin de dissipation 50
V.6.5. Le chenal d'évacuation 51
V.6.5. Ouvrage de prise et Vidange 51
V.7. Elaboration du dossier d'exécution 52
V.7.1 Note méthodologique de pour la construction du barrage de Doumbala 52
V.7.2 Devis quantitatif 55
V.8 Notice d'impact environnemental et social 56
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 58
BIBLIOGRAPHIE 59
ANNEXES 60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Fiche technique du Barrage de Doumbala v

Tableau 2: Signification de l'indice de pluie standardisé 9

Tableau 3: Expression des fonctions de répartition 9

Tableau 4: classification des bassins versants selon RODIER 10

Tableau 5: Classes de bassins en fonction de la pente 11

Tableau 6 : Fruits des talus en selon le type de barrage en terre et de la hauteur de la digue. 21

Tableau 7: coordonnées GPS des points de référence 26

Tableau 8 : Synthèse des pluies annuelles et journalières maximales journalières à Nouna ... 28

Tableau 9: Analyses des séries de pluies maximales journalières à la station de Nouna 29

Tableau 10 : Synthèse des caractéristiques physiques du bassin versant 30

Tableau 11: Caractéristiques de la courbe hypsométrique 32

Tableau 12 : Calcul de la crue décennale 33

Tableau 13: Estimation de la crue du projet 34

Tableau 14:Synthèse des paramètres de la crue de rupture 36

Tableau 15 : Synthèse des apports suivant la méthode de RODIER 39

Tableau 16: Synthèse des apports suivant la méthode de COUTAGNE 40

Tableau 17: Synthèse des pertes infiltration et évaporation 41

Tableau 18: Synthèse des besoins et pertes 43

Tableau 19 : Caractéristiques de la digue du barrage 44

Tableau 20: Devis quantitatif 55

Tableau 21: Synthèse de l'impact de l'a réalisation du barrage de Doumbala 56

Tableau 22:Données pluviométrie de la station de Nouna 67

Tableau 23: Ajustement de suivant la loi Normale 67

Tableau 24: 69

Tableau 25: Synthèse du Calcul du débit décennal Q10 par la méthode d'ORSTOM 79

Tableau 26:Valeur du coefficient C de LANE 91

Tableau 27:Synthèse du dimensionnement du bassin de dissipation d'énergie..... 94

Tableau 28: métré tranché d'ancrage 106

Tableau 29: métré volume filtre 108

Tableau 30: métré digue..... 110

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Indices de pluies standardisées 27

Figure 2: Ajustement à la loi de Gauss 28

Figure 3: Ajustement à la loi de Gumbel 29

Figure 4 Courbe hypsométrique du bassin versant 32

Figure 5: Hydrogramme des crues 35

Figure 6 : Courbe hauteur volume – hauteur surface 37

Figure 7 : Courbe d'exploitation de la retenue 43

Figure 8 : Modèle d'étude de la stabilité des pentes 46

Figure 9:Modèle de l'étude de stabilité des pentes du déversoir (cote radier) 49

Figure 10: Modèle de l'étude de la stabilité des pentes du déversoir 49

Figure 11: Détermination du temps de base pour des superficie de bassin versant supérieur à 10 km2 77

ILLUSTRATIONS

Image 1: carte administrative de la commune de Doumbala 5

Image 2:Modèle du bassin de dissipation 24

Image 3: Carte hydrographique du bassin versant du barrage de Doumbala 31

Image 4:Topographie de la cuvette du barrage de Doumbala 38

Image 5: Exploitation de l'eau en % 44

Image 6 : Illustration de l'exécution de la tranchée. 54

Image 7: Organigramme de la société ERI 61

Image 8: carte de sol de la commune de Doumbala 62

Image 9: Carte de l'hydrographie de la commune de Doumbala 63

Image 10: Végétation de la commune de Doumbala 64

Image 11: Géomorphologie de la commune de Doumbala 65

Image 12: Graphique de la parabole de KOZENI 86

Image 13:Bassin de dissipation en perspective 96

INTRODUCTION

L'économie de la majorité de la population du Burkina Faso repose sur l'agriculture. Selon le site « Expert-comptable International » consulté le 12 janvier 2020, près de 30% du PIB du pays est dû au secteur agricole. Ce secteur d'activité est fortement influencé par les aléas climatiques. La revue sur les effets du changement climatique estime qu'une augmentation des précipitations de 1% entraine une hausse des revenus agricoles de la population de 14,7%. Cependant, les agriculteurs perdront tout leur revenu suite à la diminution de 14 % des précipitations [1] (M. OUEDRAOGO, INERA Bobo 2012). Le constat est que le pays n'est pas en marge de cette variabilité climatique et l'agriculture prend un poids. A ce contexte, s'ajoutent plusieurs difficultés notamment : la faiblesse et l'inégale répartition des précipitations dans l'espace et dans le temps ainsi que l'insuffisance de mobilisation des eaux précipitées à des fins agricoles. Pour répondre à ces difficultés, la construction des ouvrages de stockages des ressources en eau surfacique se voit comme une alternative pour le développement du secteur agricole.

C'est dans cette optique que le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, conformément au programme du gouvernement, a lancé la construction de plusieurs barrages dont celui de Doumbala dans la commune de Doumbala, région de la Boucle du Mouhoun. L'exécution de ce projet est confiée au groupement d'entreprise EJF/ERI. Au cours de l'exécution, les résultats issus de l'étude géotechnique montrent que l'axe de la digue passe traverse de mauvais sols avant d'atteindre le bon sol qui est en profondeur. En plus de cela, la nappe est moins profonde (environ 4 m du terrain naturel) Ces nouvelles caractéristiques nécessitent la conduite d'une nouvelle étude technique qui aboutira à l'élaboration d'un dossier d'exécution. C'est dans ce cadre que l'entreprise ERI a bien voulu accepter un stagiaire sous le thème « **étude technique du barrage de Doumbala dans la commune de Doumbala, région de la Boucle du Mouhoun, Burkina Faso ».**

Ce présent travail se veut être le résultat de l'ensemble des travaux que nous avons menés tout au long de notre stage en ayant comme objectif la production d'un dossier d'exécution. Ainsi, nous présenterons la zone d'étude et les objectifs de l'étude d'abord et résumerons ensuite la méthodologie et le matériel utilisés. Enfin nous présenterons les résultats suivis des discussions avant de formuler des recommandations.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Nous avons été accueillis dans la société d'Etude et de Réalisation Industrielle (ERI). Cette société a été créé en 1989 et intervient dans les domaines du génie civil, d'aménagement hydro-agricole, de l'eau et de l'assainissement. Son siège est à Ouagadougou et est géré par monsieur SANA Ibrahim, Ingénieur en Génie Civil. Elle a en son sein :

- une direction générale ;
- une direction technique ;
- une direction en charge de l'administration et des finances ;
- un secrétariat.

Les détails de l'organigramme est joint en annexe (Image 7 ; page 61)

Ses domaines privilégiés sont les études et les réalisations des aménagements hydro agricole (Système gravitaire, semi californien et goutte à goutte), la réalisation des ouvrages d'art (pistes, château d'eau, bassins piscicoles) et des systèmes de rétention d'eau de surface (boulis, barrages en terre et barrage poids).

C'est dans le cadre de ses prestations que le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, à travers sa direction technique (Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques), a retenu le groupement d'entreprise EJF/ ERI pour la construction du barrage de Doumbala avec pour mandataire la société ERI. Dans son cahier de charge, l'entreprise doit produire un dossier d'exécution devant servir à la construction du barrage avant le démarrage des travaux afin de se rassurer que techniquement le projet est réalisable et que financièrement les ressources suffisent pour les travaux.

C'est ainsi que nous avons été accueillis et instruit de réaliser les études techniques, reprendre la conception et dimensionnement pour sortir un dossier d'exécution.

II. OBJECTIFS DE L'ETUDE

II.1. Objectif général

L'objectif général consiste à réaliser une étude technique détaillée de la construction du barrage de Doumbala.

II.2. Objectifs spécifiques

La finalité du stage pour l'entreprise est de proposer des solutions réalisables aboutissant à l'exécution du projet. De façon spécifique, il s'agit de :

- mener des études de bases (topographiques, géotechniques, hydrologiques et hydrogéologiques) ;
- concevoir et dimensionner le barrage ;
- proposer un dossier d'exécution permettant la conduite des travaux de construction du barrage de Doumbala.

III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

III.1. Localisation de la zone d'étude

Le village de Doumbala est le chef-lieu de la commune/département du même nom. Il se situe dans la province de la Kossi (chef-lieu Nouna), l'une des six (06) provinces de la région de la Boucle du Mouhoun. Elle est limitée au Nord par la commune de Dibassoba, au Sud par les communes de Tansila et Dokui, à l'Est par la commune de Nouna et à sa partie ouest constitue la frontière du Burkina-Mali. Aussi, Doumbala se situe à quelques encablures de la frontière du Mali qui se situe à moins de 10 Km.

Doumbala est accessible par la route départementale D114 Nouna-Doumbala longue de 32 km. Cette voie est difficilement praticable surtout en période d'hivernage.

Le site du barrage se situe au Sud-Ouest de Doumbala-centre à environ 5 km, accessible à travers une piste qui traverse par moments des lits de ruisseaux parfois assez profonds.

Les coordonnées UTM Zone 30P du site sont : X= 372.009 et Y = 1.425.881

L'illustration de la localité est en (Image 1 page 5)

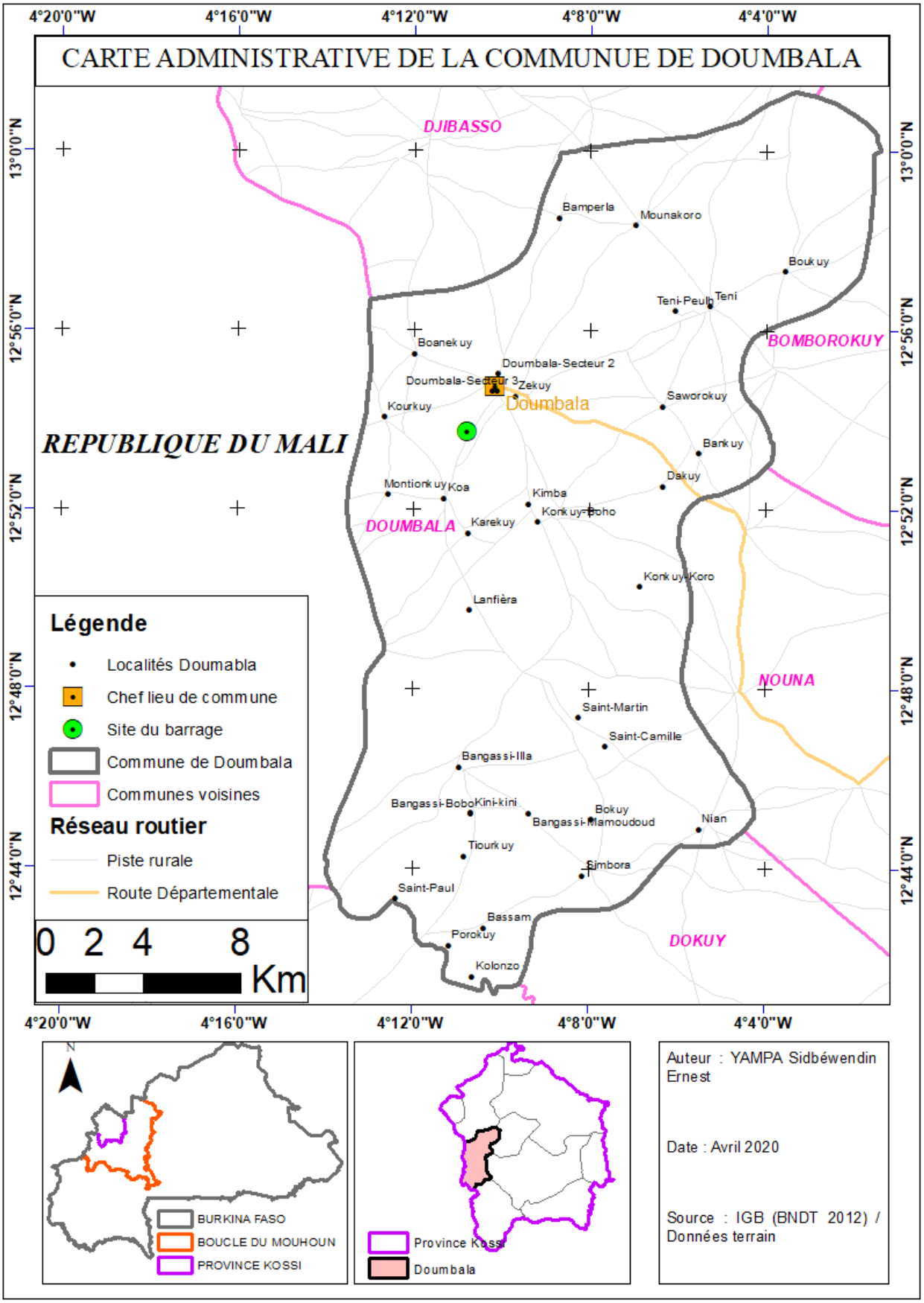


Image 1: carte administrative de la commune de Doumbala

III.2. Aspects physique et naturel de la zone d'étude

III.2.1. Le relief et les sols

Le relief et le sol influencent le comportement hydrologique du bassin versant [2]. Avoir une connaissance sur ces aspects présente un avantage dans la conception, notamment dans la détermination de l'infiltration et l'évaporation ainsi que les autres paramètres de l'écoulement.

Le relief est formé par une pénéplaine légèrement inclinée au Sud avec des pentes douces. [3]

III.2.2. Le climat et la végétation

Du point de vue climat, la commune de Doumbala se situe dans la **zone sahélienne**. Elle est caractérisée par l'alternance de deux saisons : une saison sèche de 8 à 9 mois allant d'octobre à mai et une saison pluvieuse de 4 à 3 mois allant de juin à septembre. Les paramètres climatiques relevés entre 1986 et 2016 présentent des tendances à la hausse.

La pluviométrie est relativement bonne avec des moyennes annuelles tendant vers 750 mm [2]. Les pluies maximales journalières peuvent excéder 80 mm pendant certains mois de l'année. L'évapotranspiration au niveau de la station synoptique de Dédougou est d'environ 6 mm par jour en moyenne et les températures moyennes s'élèvent à 28°C en saison pluvieuse, et 31 °C en saison sèche avec des valeurs maximales dispersées autour de la moyenne. La vitesse du vent est plus élevée au cours du premier trimestre de l'année correspondant à la période de l'harmattan que pendant la saison pluvieuse. La moyenne journalière est de 1,5 km/h.

Sa végétation est à l'image de son climat et est caractérisé par la savane arbustive et la savane boisée et arborée [2]; (voir monographie de commune de Doumbala ainsi que la carte de végétation). Toutefois, avec la dégradation du couvert végétal occasionnée par le changement climatique et l'action anthropique, on peut raisonnablement classer la zone dans la savane arbustive.

La végétation rencontrée est composée de savane boisée, de forêts galerie et de savane arbustive. Les espèces les plus rencontrées dans le terroir départemental sont entre autres :

- au niveau des hautes terres : le *Vitelaria paradoxa* (karité), *Lannea acida (*raisinier*), Acacia seyal* (mimosa épineux)*, Balanites aegyptiaca (dattier du desert), Parkia biglobo*sa (néré), etc.
- au niveau des glacis : *Ficus Spa (*figuier*), Daniella oliviéri (*résine ou faro), *Khaya sénégalensis* (caïlcédrat*)* etc.

- dans les bas-fonds : *le Parkia biglobosa (*néré)*, Andantino digitata (*Baobab)*, Tamarindus indica (*Tamarinier*), Balanites aegyptica (*dattier du desert)*, Acacia albida* (acacia).

D'une manière générale, on note que cette végétation subit une forte dégradation liée aux aléas climatiques, aux actions anthropiques et à la pression démographique. [4]. L'illustration est en annexes (Image 10, page 64).

III.2.2. L'hydrographie

Notre zone d'étude se situe dans le plus grand bassin national qui est le **Mouhoun** [5]. Elle est dans le sous bassin national **Mouhoun Supérieur**. A l'échelle de la commune, les écoulements de surface sont organisés autour du fleuve Mouhoun, l'un des principaux affluents du bassin du Mouhoun et des mares temporaires formés parfois dans les lits des affluents. Ce cours d'eau est situé à environ 20 km à l'ouest de la localité de Doumbala. Le village lui-même fait partie d'un bassin versant de 222 km2 environ drainé par un cours d'eau, lequel devra abriter le futur barrage et aménagements. La majeure partie de ces cours d'eau prennent naissance depuis le Mali car plus de 60% du bassin versant se situe dans le territoire malien. On note un réseau hydrographique assez dense et tributaire des conditions pluviométriques annuelles. Les cours d'eau sont tous temporaires et présentent une morphologie moins encaissée. (Image 9 ; page 63)

III.3. Synthèse des données météorologiques

Les données météorologiques sont obtenues à partir de la station de Nouna qui est celle la plus proche du site. Les relevés s'étalent de 1986 à 2016 soit 31 ans. La station synoptique de Dédougou a été utilisée pour combler les données manquantes.

IV. MATERIELS ET METHODES

IV.1. Matériels

Les matériels utilisés pour l'étude de la conception du barrage de Doumbala sont les suivants :

- un GPS pour relever les coordonnées des points importants sur le site ;
- les logiciels Google Earth et Global Mapper pour compléter les études topographiques ;
- le logiciel Arcgis pour le géo traitement et la cartographie ;
- le logiciel Hyfran pour la vérification des traitements statistiques des données pluviométriques ;
- le logiciel Géoslope V12 pour la vérification de la stabilité des talus de la digue ;
- le pack Microsoft Office (Excel, Word) pour la rédaction et les calculs ;
- le logiciel Covadis et autocad pour les dessins (tracé des profils, plan de masse, coupe et détails des ouvrages).

IV.2. Méthodes

Afin d'aboutir aux objectifs que nous nous sommes fixés, une démarche a été suivie et plusieurs études ont été faites. Il s'agit des études pluviométriques, topographiques, géotechniques et hydrologiques.

IV.2.1. Etudes pluviométriques

Les études pluviométriques sont faites à partir des données obtenues de la station météo de Nouna et de la station synoptique de Dédougou. Ces données s'étalent de 1986 à 2016 soit des données de 31 ans. De ces études, les paramètres suivants ont été obtenus :

IV.2.1.1. Détermination des indices de pluies standards

L'indice SPI est fondé sur la probabilité de précipitations sur un espace de temps donné. La probabilité des précipitations observées est transformée en un indice qui sert aussi bien à l'expérimentation qu'à l'exploitation. Nombreux sont les responsables de la planification en matière de sécheresse à apprécier la souplesse d'utilisation de l'indice IPS. L'indice est utilisé aussi dans divers instituts de recherches, universités, services météorologiques et hydrologiques nationaux du monde entier, dans le cadre d'activités de suivi de la sécheresse et d'alerte précoce dans le domaine. Il a été déterminé par la formule : $\frac{P_i - \bar{P}_{ian}}{\delta}$ où P_i représente le cumule pluviométrique moyen de l'année i, $\bar{P}_{ian}$ désigne la moyenne interannuelle de la série de données pluviométriques de 1986 à 2016 et σ

écart-type de l'échantillon. La valeur de l'indice de pluie standard permet de caractériser l'ampleur de la sécheresse ou de l'humidité pour une période donnée.

Tableau 2: Signification de l'indice de pluie standardisé

2 < IPS	Humidité extrême
1.5< IPS <1.99	Humidité sévère
1< IPS <1.49	Humidité modéré
0< IPS <0.99	Humidité légère
-0.990< IPS <0	Sécheresse légère
-1.49< IPS <-1	Sécheresse modérée
-1.99< IPS <-1.5	Sécheresse sévère
IPS < -2	Sécheresse extrême

IV.2.1.2. Détermination des quantiles

Pour l'estimation des apports dans le bassin versant, une série de données climatiques journalières (pluie, température, évaporation bac, vent...) de la station de Dédougou de 1986 à 2016 ont été utilisées. Elles ont été fournies par la direction générale de l'Agence National de la météorologie (ANAM).

Le logiciel HyfranPlus a été utilisé pour l'analyse statistiques des pluies. La loi normale de GAUSS et celle de GUMBEL ont été utilisées respectivement pour ajuster les pluies moyennes annuelles et les pluies maximales journalières. Une analyse statistique des deux série (pluies annuelles et pluies maximales journalières) a permis de déterminer les quantiles pour différentes périodes de retour.

Les fonctions de répartition ou probabilité de non dépassement ainsi que les paramètres de ces lois sont mentionnés dans le tableau ci –dessous.

Tableau 3: Expression des fonctions de répartition

Loi	Fonction de répartition	Paramètres 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 serie
GUMBEL	$F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}}$	x_0: Paramètre de position a : paramètre d'échelle

Source : Cours d'hydrologie (Analyse Fréquentielle) Pr H. KARAMBIRI et Dr D. NIANG (2011)

IV.2.2 Etudes Topographique

Ces études ont consisté à effectuer dans un premier temps des levées sur le terrain des points en coordonnées cartésiennes (X, Y, Z). Ces points ont été ensuite traité afin d'obtenir le polygone servant à l'exécution des plans côtés.

IV.2.3. Etudes Géotechniques

Des travaux de reconnaissance géotechnique ont été menés pour identifier le sol de la fondation de l'axe du barrage et rechercher des emprunts de matériaux de construction (matériau de remblai compacté, sable, gravier et moellons).

IV.2.4. Etudes hydrologiques

IV.2.4.1. Caractéristiques du bassin versant du barrage de Doumbala

Le bassin versant topographique en une section d'un cours d'eau est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par le cours principal et ses affluents en amont de la section considérée appelée exutoire [6]. Toute goutte d'eau qui tombe dans cette surface topographique doit nécessairement transiter par l'exutoire pour poursuivre son chemin.

Les caractéristiques physiques du bassin versant ont été déterminées à l'aide des outils du système d'information géographique (SIG) à partir des modèles numériques de terrain de résolution 30 m sur 30 m téléchargés sur le site de earthexplorer (http://earthexplorer.usgs.gov).
Afin de déterminer la classe du bassin versant, nous avons suivi les classifications de l'Organisation des Nation Unies pour l'alimentation et l'Agriculture (FAO). En effet selon la taille du bassin versant, quatre classes définies par Rodier dans le bulletin 54 de la FAO peuvent être distinguées (Tableau 4).

Tableau 4: classification des bassins versants selon RODIER

Classe de bassin versant		Superficie (S) du bassin versant
Classe 1	Très petits bassins versants	Superficie de quelques ha
Classe 2	Petits bassins versants	Superficie compris entre 2 et 40 km^2
Classe 3	Bassins versants moyens	Superficie compris entre 40 et 1000 km^2
Classe 4	Grands bassins versants	Superficie supérieure à 1000 km^2

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

- ***Longueur du rectangle équivalent (L)***

La longueur du rectangle équivalent est celle qu'aurait un rectangle de même dimensions (Surface et Périmètre) que le bassin versant. Elle a été déterminée à l'aide de la formule suivante :

$L = \frac{P+\sqrt{P^2-16S}}{4}$ où **P** représente le périmètre et **S** la surface du bassin versant.

- ***Indice de compacité de Gravelius (K_G)***

La forme du bassin versant a été caractérisée par l'indice de Gravelius qui a une grande influence sur l'écoulement global et surtout sur l'hydrogramme résultant d'une crue donnée. Le temps de concentration dépend de la forme du bassin versant. Plus le bassin versant est arrondi, plus le temps de concentration est faible et plus il est allongé, plus le temps de concentration est élevé. L'indice de Gravelius est donné par la formule : $\mathbf{K_G} = \frac{P}{\sqrt{4\pi S}} \approx \mathbf{0,282} \times \frac{\mathbf{P}}{\sqrt{\mathbf{S}}}$ où P représente le périmètre et s la surface du bassin versant. Le coefficient de Gravelius est proche de 1 si le bassin versant est arrondi et supérieur à 1 dans le cas contraire.

- ***Pente longitudinale***

La pente longitudinale a été calculée avec la formule simplifiée de GRESILLON donnée par $\mathbf{I_{BV}} = \frac{\mathbf{26}}{\sqrt{\mathbf{S}}}$. Où S représente la superficie du bassin versant en km² et I_{BV} **la pente longitudinale.** En fonction de la valeur de la pente longitudinale, le bassin sera classé en six classes définies par l'Office de Recherches Scientifiques et Techniques Outre-Mer (ORSTOM).

Tableau 5: Classes de bassins en fonction de la pente

R1	Bassins de pentes extrêmement faibles inférieures à 2 m/km (2‰).
R2	Bassins de pentes faibles comprises entre 2 m/km et 5 m/km (2‰ et 5‰). Ce sont des bassins de plaine
R3	Bassins de pentes modérées comprises entre 5 et 10 m/km (5‰ et 1%). Ce sont des terrains intermédiaires entre la plaine et les zones à ondulation de 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)

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

La pente longitudinale du cours d'eau a été déterminée à partir du profil en long du cours d'eau principal. Elle est proportionnelle à la dénivelée du cours d'eau principale et inversement proportionnelle à la longueur du cours d'eau principale : $I_{cp} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_{cp}}$

H_{max} Désigne l'altitude maximale le long du cours d'eau principal, H_{min} l'altitude minimale le long du cours d'eau principal, L_{cp} la longueur du cours d'eau principale et I_{cp} la pente longitudinale du cours d'eau principale.

- ***Indice global de pentes et pentes transversales***

A l'issue de la délimitation du bassin versant et de la génération des courbes de niveau, les surfaces partielles ont été calculées avec le logiciel ArcGIS afin de tracer la courbe hypsométrique. Les altitudes correspondantes à 5% ($H_{5\%}$) et 95% ($H_{95\%}$) de la surface du bassin ont été déterminées à partir de la courbe hypsométrique. L'indice global de pente Ig a été calculé à partir de la formule : $\boldsymbol{I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}}$ où L désigne la longueur du rectangle équivalent.

La pente transversale a été calculée sur six sections transversales sur tout le bassin versant et est donnée par $\frac{\mathbf{H_{max} - H_{min}}}{\mathbf{L}}$ avec L la distance qui sépare les deux courbes de niveau.

La moyenne des différentes pentes transversales a été retenue pour la suite des calculs. La valeur moyenne (I_t) a été comparée à la pente longitudinale (Ig) pour s'assurer d'une éventuelle correction de l'indice global (**Ig_{corr}**) de pente suivant la formule :

$$\mathbf{Ig_{corr} = \frac{(n-1)Ig + I_t}{n}}$$

Avec : n = 2 pour L < 5 km ;

n = 3 pour 5 km < L < 25 km ;

n = 4 pour 25 km < L < 50 km ;

n = 5 pour L > 50 km où L [km] représente la longueur du rectangle équivalent.

- ***Densité de drainage***

La densité de drainage (D_d) a été déterminée en faisant le rapport entre la longueur totale des cours d'eau et la superficie totale (S) du bassin versant. Le dénivelé spécifique quant à elle a été déterminée par le produit de l'indice global des pentes Ig (Ig corrigé) et la racine carrée de la superficie (S) du bassin versant $\boldsymbol{D_d = \frac{\sum L_i}{S}}$ **et** $\boldsymbol{D_s = I_g * \sqrt{S}}$

- ***Classe d'infiltrabilité du bassin***

La classe d'infiltration a été déterminée suivant la classification de l'ORSTOM. La classification qualitative adopté par RODIER comprend six classes et l'indice placé entre parenthèse correspond à l'ancienne nomenclature utilisé par RODIER et AUVRAY en 1965.

- 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 assez 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.

III.2.4.2. Détermination de la crue de projet

- **Prédétermination de la crue de projet**

Afin de prédéterminer la crue du projet, une démarche est proposée par le manuel de la FAO. La connaissance de certains paramètres s'avère nécessaire pour y aboutir.

- ***Détermination de la pluie annuelle.***

La pluie annuelle est obtenue après l'application des méthodes statistiques sur les données pluviométriques.

- ***Détermination du coefficient d'abattement A***

Le coefficient d'abattement A a été déterminé par la méthode suivante :

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

où **A** est le coefficient **d'Abattement** ; $\boldsymbol{\overline{P_{an}}}$ est la pluies moyenne annuelle sur le bassin versant étudié et S la superficie du bassin versant.

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

Pour une précipitation décennale ponctuelle P10 différente de 70 et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissellement Kr_{10} a été faite par interpolation linéaire entre les valeurs de kr_{70} et kr_{100}. Ces valeurs ont été déterminées graphiquement à l'aide des courbes empiriques ou à partir des formules analytiques définies comme suit :

$$K_{r70}\ ou\ K_{r100} = \frac{a}{S+b} + c$$

Les variables a, b et c de k_{r70} et k_{r100} nécessaires à la détermination des coefficients de ruissellement ont été lues dans des abaques en fonction de la zone climatique, de la taille du bassin versant, de sa classe d'infiltrabilité et de l'indice de pente dudit bassin [7].

- ***Détermination du temps de base***

Le temps de base a été déterminé par interpolation en se basant sur la valeur de l'indice global de pente. $T_b = a \times S^{0,35} + b$

- ***Détermination du temps de montée***

Le temps de montée T_{m10} a été déterminé en utilisant la même procédure que le temps de base sur les valeurs de l'indice de pente encadrant l'indice de pente de notre bassin versant.

$$T_b = a' \times S^{0,35} + b'$$

- ***Débit de ruissellement décennal***

Le débit de ruissellement décennal a été déterminé par :

$$\boldsymbol{Q_{r10} = A * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}}}$$

A étant le coefficient d'abattement ; (ii) **P10**, la pluie journalière décennale ; (iii) **Kr10** coefficient de ruissellement décennal ; (iv) **α10**, le Coefficient de pointe crue décennale ; (v) **Tb10**, le temps de base en heures et (vi) **S**, la superficie du bassin versant.

- ***Calcul de la crue décennale selon la méthode CIEH***

Les études du CIEH les plus récentes c'est-à-dire celle conduite par C. Puech et D. Chabi Gonni ont par des méthodes de régressions déterminés pour différents bassins versants des formules permettant d'estimer le débit de crues décennale. Le manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports pour les petits bassins versant non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche à la page 70 donne pour le Burkina Faso deux formules de calculs Cette méthode est beaucoup plus statistique. Elle est fonction de l'appartenance du bassin à un découpage climatique, à une position géographique et à un découpage pour un pays ou un groupe de pays. La crue décennale est donnée par

$$\boldsymbol{Q_{10} = a * S^b * I_g^C * K_{r10}^d * P_{an}^e.}$$

Dans cette formule **S [Km²]** représente la surface du bassin versant ; **Pan [mm]** la pluie annuelle moyenne ; **Ig [m/km]**, l'indice global de pente ; **K_{r10} [%]**, le coefficient de ruissellement décennal et les paramètres a, *b, c, d* et *e* sont des coefficients d'ajustement.

Les coefficients d'ajustement *a, b, c, d* et *e* sont déterminés par régressions multiples. Dans notre cas, nous avons utilisé quelques équations de régressions les plus susceptibles d'approcher la crue décennale en fonction des paramètres les plus représentatifs que sont S, Ig et Kr_{10}.

- ***Détermination de la crue de projet***

Pour la détermination de la crue de projet, différentes équations ont été déterminé. Des débits calculés par les différentes équations, la valeur maximale des résultats obtenues a été retenue.

- ***Détermination de la crue du projet***

A priori, les méthodes de calcul des crues de projet ne diffèrent ni selon la taille des ouvrages, ni même selon celle des bassins versants, du moins en dessous de quelques centaines de km2 (recommandation pour les petits et moyens barrages).

La crue du projet correspond à la crue centennale. Son estimation a été suivant la théorie du Gradex.

Le coefficient multiplicateur a été déterminé par : $\mathbf{C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{\left(\frac{T_{b10}}{24}\right)^{0,12}}{K_{r10}}}$.

La crue centennale a été déterminée par $Q_{100} = C \times Q_{10}$ où P100 désigne la pluie centennale et Q100 la crue centennale.

III.2.2.3. La crue de rupture de projet

Cette crue désigne la crue que le barrage peut supporter dans les conditions exceptionnelles sans subir des dommages sur son état de fonctionnement. La formule suivante (formule du comité international des grands Barrages) a été utilisée pour déterminer cette crue :

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

Où **a** représente la revanche, **l** la longueur du déversoir et **L** la largeur de la Digue sans le déversoir.

IV.2.3. Etude de la cuvette

IV.2.3.1. Courbe Hauteur Volume

Les données topographiques, nous permettent de reconstituer la courbe Hauteur-Volume du barrage. Le volume partiel est obtenu par la relation suivante du cours de barrage 1 (Moussa LO, 2018).

$V_{i+1} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} * h$	$V_{i+1}: Volume\ du\ bassin\ versant\ en\ m^3$ $S_i: Surface\ du\ plan\ d'eau\ correspondant$ à $la\ courbe\ i\ (ha)$ $S_{i+1}: Surface\ du\ plan\ d'eau\ correspondant$ à $la\ courbe\ i + 1\ (ha)$ $h: Dénivelée\ entre\ deux\ courbes\ de\ niveau\ i\ et\ i + 1\ (m)$

IV.2.3.2. Calage du plan d'eau normal (PEN)

La côte de calage optimale de la retenue normale du barrage est celle qui correspond au rendement topographique (rapport entre le volume d'eau stocké et le volume des remblais de la digue) le plus élevé. Afin de tenir compte des différents besoins nous devons rechercher un volume de retenue minimal.

Nous choisissons différentes côtes de retenue normale afin d'estimer le rendement topographique. Ainsi nous retiendrons la côte à laquelle le rendement topographique est élevé

IV.2.3.3. Lame d'eau déversant

La lame d'eau déversant au-dessus du seuil a été pris conformément à la recommandation (Compaoré, 1996) qui place la plage de lame d'eau entre 0,6 et 1,5 m [8].

IV.2.3.4. Calage du plan des plus hautes eaux (PHE)

Elle correspond au PEN augmenté de la charge au-dessus du seuil. Elle est donnée par l'équation suivante

:

$$PHE = PEN + h$$

$\boldsymbol{PHE}: Plan\ des\ Hautes\ Eaux\ (m)$

$\boldsymbol{PEN}: Plan\ d'Eau\ Normal\ (m)$

$\boldsymbol{h}: Hauteur\ d'eau\ au\ dessus\ du\ seuil\ (m)$

IV.2.3.5. Calcul des besoins en eau

Les besoins en eau agricoles sont le volume d'eau nécessaire pour compenser le déficit de l'évaporation potentielle d'une part et d'autre part les pluies efficaces pendant la période de la croissance des cultures et le changement dans la teneur en eau du sol. Elle est fonction des saisons, des cultures, des conditions climatiques et des types de sol.

Les besoins en eau des cultures sont estimés par les étapes et les formules suivantes :

- **Besoins nets**

$B_n = K_C * ET0 - P_e$

Avec P_e la pluie efficace, K_C le coefficient cultural, ET0 l'évapotranspiration de référence

- **Besoins bruts**

$B_b = \frac{B_n}{E}$ Avec E l'efficience du système d'irrigation, il est pris égal 60% dans cette étude car nous optons pour un système d'irrigation de type semi-californien.

Pour les pluies efficaces P_e, elles sont calculées suivants la méthode de l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières (IRAT)

- Si $P \geq 20\ mm\ alors\ P_e = P - \big(0{,}15 * (P - 20)\big) avec\ P, la\ pluviometrie$
- Si $P < 20\ mm\ alors\ P_e = P$

Des simulations des besoins en eau des cultures ont été faites pour déterminer la culture la plus contraignante. Mieux encore, des scenarii ont été faits pour optimiser l'usage de l'ouvrage. Le premier scenario a consisté à faire des simulations pour déterminer la campagne la plus consommatrice d'eau.

Le deuxième scenario a consisté d'étaler au mieux la campagne sur la période sèche avec la culture contraignante en fonction des habitudes des usagers en matière d'utilisation d'eau.

IV.2.3.6. Evaluation des pertes

- Estimation des pertes par évaporation

L'estimation des pertes en évaporation est faite suivant la méthode d'évaporation indirecte des nappes d'eau libre de FAO basée sur le bac de classe A. Cette méthode utilise la formule de POUYAUD qui permet de passer de l'évaporation du bac classe A à l'évaporation d'un lac par la relation suivante :

$$\boldsymbol{E_{ret} = 1.664 * (E_{bacA})^{0.602}}$$

$E_{ret}: Evaporation\ du\ plan\ d'eau(mm/j)$

$E_{bacA}: Evaporation\ du\ bac\ A\ (mm/j)$

- Estimation des pertes par infiltration

L'infiltration des ouvrages hydrauliques du Burkina dans la littérature est comprise entre 1 à 3 mm/jr [8] (source : M. L COMPAORE, cours de barrage 1996). Il est à noter que cette infiltration diminue au fil du temps avec le gonflement des particules fines.

- Estimation des dépôts solides

L'eau, au cours de son parcours tout au long de bassin versant, entraine avec elle des matériaux solides qu'elle a arrachés. Ces éléments solides arrachés se déposeront dans la cuvette et auront comme conséquence la diminution de la capacité de la retenue. Le calcul des dépôts solides permettra de quantifier l'arrivée de ces matériaux dans la retenue. Il existe tout un ensemble de formules permettant d'évaluer de manière plus ou moins fiable l'importance des apports solides.

- Formule de GOTTSCHALK

La formule de GOTTSCHALK requiert la connaissance d'un seul paramètre, il s'agit de la superficie du bassin versant. Elle calcule la dégradation D spécifique ($m^3/km^2/an$) par la formule suivante :

$$\boldsymbol{D = 260 * S^{-0.1}}$$

Avec S est la superficie du bassin versant en km^2.

- Formule de GRESILLON

Contrairement à la formule de GOTTSCHALK, la formule de GRESILLON connu sous l'appellation la formule d'EIER-CIEH exige deux paramètres que sont la pluviométrie annuelle et la superficie du bassin versant. La dégradation spécifique se calcule à l'aide de la formule ci-dessous :

$$\boldsymbol{D = 700 * \left(\frac{P_{an}}{500}\right)^{-2,2} * S^{-0.1}}$$

Avec Pan la pluie annuelle en mm et S la superficie du bassin versant en Km^2

- Formule de KARAMBIRI

La formule de KARAMBIRI ou GRESILLON modifié utilise en plus des paramètres de GRESILLON deux autres paramètres. Il s'agit du paramètre de morphologie **r** et un paramètre anthropique **h.** La dégradation spécifique se calcul de la façon suivante :

$$\boldsymbol{D = 137 * \left(\frac{P}{700}\right)^{-2.02} * S^{-0.05} * (0.25 + 1.13 * (h + r))^{1.15}}$$

D : la dégradation spécifique annuelle, $m3/km2\ /an$

S : la superficie du bassin versant, en km^2

h : le paramètre anthropique

r : le paramètre morphologique

P : la pluviométrie

Les paramètres h et r sont fonction des activités anthropiques et du degré d'urbanisation du bassin.

IV.2.3.7. La courbe d'exploitation

Elle est établie à partir de la courbe hauteur-volume de la retenue d'eau. Elle nous donne un aperçu de l'évolution de la capacité de la retenue en fonction des périodes (mois) tout en prenant en compte les pertes en eau (infiltration, évaporation) ainsi que les besoins en eau (pastoral, domestique et agricole).

IV.2.4. Conception et dimensionnement du barrage

IV.2.4.1. Dimensionnement de la digue

- **Calage de la digue**

La hauteur de la digue est la côte normale de la retenue des eaux majorée de la lame d'eau au-dessus du déversoir et de la revanche. Elle est calculée à partir de l'équation suivante.

$H_D = H_r + h + R = PHE + R$	$H_r = Hauteur\ de\ la\ retenue\ (m)$ $h = Lame\ d'eau\ au\ dessus\ du\ seuil\ (m)$ $R = Revanche\ (m)$

- **Largeur de la crête**

La largeur de la crête est dimensionnée pour la circulation des engins et pour l'entretien de l'ouvrage (GUEYE, 2014). Elle est calculée par la formule de KNAPPEN et de PREECE correspondant aux équations :

Formule de KNAPPEN $L_c = 1{,}65 * \sqrt{H_D}$	$L_c(m): Largeur\ en\ crête$ $H_D(m): Hauteur\ de\ la\ digue$
Formule de PREECE : $L_c = 1{,}1 * \sqrt{H_D} + 1$	

- **La largeur en base**

La digue étant de forme trapézoïdale, la largeur de la fondation est donnée par l'équation suivante :

$$L_f = L_c + (m_{am} + m_{av}) * H_D$$

$L_c(m): Largeur\ en\ crête$

$m_{am}: Fruit\ de\ berge\ amont$

$m_{av}: Fruit\ de\ berge\ aval$

$H_D(m): Hauteur\ de\ la\ digue$

- **La revanche libre**

- ***Formule de Gaillard***

$$R = 0{,}75 * \left(h + \frac{{V_v}^2}{2 * g}\right)$$

$$V_v = 1{,}5 + \frac{2}{3} * h$$

$h(m): Hauteur\ des\ vagues$

$V_v\ (m/s): Vitesse\ de\ propagation\ des\ vagues$

- ***Approche simplifiée***

Les chercheurs du comité des Grands Barrages proposent des recommandations sur l'estimation de la revanche en fonction du volume de la retenue et la hauteur de la digue (H) pour les petits barrages. La revanche retenue est obtenue en faisant la moyenne des deux approches.

- Pente des talus de la digue

Les pentes sont fixées en tenant compte des caractéristiques géotechniques et de la nature des matériaux de construction. Avec la hauteur de digue comprise entre 5m et 10m, nous retiendrons pour le barrage de Doumbala une pente 2,5H/1V pour le talus amont et 2H/1V pour le talus aval.

Tableau 6 : Fruits des talus en selon le type de barrage en terre et de la hauteur de la digue

Hauteur du barrage	Type de barrage en terre	Fruit de talus	
		Amont	Aval
Inférieure à 5 m	Homogène	1/2,5	1/2
	A zones	1/2	1/2
5 à 10 m	Homogène, granulométrie étendue	1/2	1/2
	Homogène à fort pourcentage d'argile	1/2,5	1/2,5
	A zone	1/2	1/2
10 à 20 m	Homogène, granulométrie étendue	1/2	1/2
	Homogène à fort pourcentage d'argile	1/3	1/2,5
	A zone	1/2	1/3

Source :(LO, 2016), cours de barrage.

- **Infiltration et hydraulique interne**

Cette étude consiste à analyser les conditions d'étanchéité des corps de remblai en sachant que les infiltrations peuvent causer trois phénomènes :

- La ligne de saturation ou ligne phréatique
- Le débit de fuite
- La pression interstitielle de l'eau dans le massif (sous pression)

Le débit s'infiltrant à travers la digue peut être évalué à travers la parabole de KOZENY.

$$q = k_h * y_0$$

$$y_0 = \sqrt{{H_r}^2 + d^2} - d^2$$

Y_0 : Point d'intersection de l'axe des ordonnées et de la parabole de Kozeny.

H_r : Tirant d'eau à l'amont (m)

d : Largeur en base du barrage diminué de 0,7b et de la longueur du drain

q : Débit de fuite par mètre linéaire (m^3/s/ml)

k_h : Perméabilité de la digue (m/s)

- **Filtres et drains**

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

$$e_d = 2 * \sqrt{\frac{q * l_d}{k_D}}$$

$$l_d = \frac{L_f}{3}$$

e_d(m) : Epaisseur du drain

l_d(m) : Longueur du drain

L_f (m) : Largeur en base de la digue

k_d (m/s) :Perméabilité du drain

La valeur minimale recommandée est de 0,5 m (Source : Techniques des petits barrages en Afrique Sahélienne et Equatoriale, page 193).

- **Stabilité des talus de la digue**

La digue étant homogène, en terre, les sollicitations extérieures ne sont pas susceptibles d'entrainer un renversement ou un glissement d'ensemble. Le phénomène à éviter est le glissement des talus. Le talus amont étant supérieur au talus aval, la vérification a été faite sur le talus aval.

- **Protection des talus**

Les épaisseurs de protection sont calculées par la formule suivante :

$$e = 1{,}5 * D_{50}$$

e(m): épaisseur de protection

D_{50}(m) : Fonction de l'épaisseur des vagues

- **Tranchée d'ancrage**

La tranchée d'ancrage a pour objectif d'éviter la formation des renards, un phénomène d'érosion qui s'accélère au fur et à mesure que le gradient hydraulique augmente. Connaissant la hauteur d'eau à l'amont du barrage, on déterminera la longueur des lignes de fuite dans la fondation. On utilisera la règle de LANE.

$$L_v + \frac{1}{3} * L_h \geq C * H$$

L_v(m) : Longueur des cheminements verticaux

L_h(m) : Longueur des cheminements horizontaux

H(m) : Hauteur d'eau en amont du barrage

C : Coefficient de LANE qui dépend de la nature du terrain

En plus de cette méthode (règle de LANE) qui est critiquable selon certains auteurs de Cemagref, il faut coupler avec des écrans de dimensions suffisante pour allonger la longueur du cheminement de l'eau. Sous le pied aval du barrage, un drain respectant les conditions de filtres sera disposé. Car le renard s'amorçant toujours à l'aval et les matériaux les plus grossiers étant justement mis en place dans cette zone, le démarrage du phénomène sera ainsi rendu impossible.

IV.2.4.2. Dimensionnement du déversoir et des ouvrages annexes

IV.2.4.2.1. Le déversoir

- **Le débit du projet**

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

m : Coefficient de débit de l'évacuateur

L(m) : Longueur du déversoir

h(m) : Hauteur du déversoir

- **Laminage de crue**

Dans les projets de barrage l'un des paramètres clés du dimensionnement est le débit du projet. La surestimation entraine le coût élevé de l'ouvrage pendant qu'une sous-estimation met en jeu la sécurité de l'ouvrage. Pour éviter un surdimensionnement de l'ouvrage, le laminage est effectué pour abaisser la longueur du déversoir. Nous avons utilisé la méthode du x_0 pour évaluer l'effet de laminage. L'effet de laminage est sous la forme d'un coefficient β. Il représente le rapport entre le débit de crue et le débit évacué. Il est déterminé par sa lecture dans un abaque. Ensuite la valeur de X0 est déterminée par la formule :

$$x_0 = \frac{m^2 * g * L^2 * Q_{max} * {t_m}^3}{S^3}$$

La longueur approchée se détermine par :

$$L_{approx} = \frac{Q_{crue}}{m * \sqrt{2 * g} * h^{3/2}}$$

IV.2.4.2.2. Diguette de protection

- **Prédimensionnement**

Le prédimensionnement nous permet de déterminer la hauteur, les pentes des talus et la largeur des diguettes. Son approche méthodologique est similaire au dimensionnement de la digue.

- **Vérification de la stabilité**

Avec les propriétés des matériaux on utilise le logiciel Géo slope pour s'assurer que les talus des diguettes sont stables.

IV.2.4.2.3. Bassin de dissipation

Le type de bassin le plus utilisé est le bassin de type ressaut. Il permet de réduire efficacement la vitesse de sortie à une valeur acceptable avec la stabilité des berges à l'aval.

Ce sont également des bassins où l'on localise le ressaut faisant passer du régime de type torrentiel au type fluvial qui correspond aux conditions d'écoulement dans le lit de restitution.

La forme du ressaut et ses caractéristiques dépendent directement du nombre de Froude.

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g * y}}$$

F_r : Nombre de Foudre

y(m) : Tirant d'eau

V et y représentent respectivement la vitesse et le tirant d'eau qui sont calculés en résolvant le système d'équation :

$$\begin{cases} V_1 = \sqrt{2 * g * \left[0{,}9 * \left(H_0 + h + \frac{V^2}{2 * g}\right) - y_1\right]} \\ y_1 = \frac{Q_{max}}{l * V_1} = \frac{q}{V_1} \end{cases}$$

H_0(m) : Hauteur du barrage

β : Coefficient de laminage

Q_{cmax}(m^3/s) : Débit de crue de projet

q : Débit unitaire (m^3/s/ml)

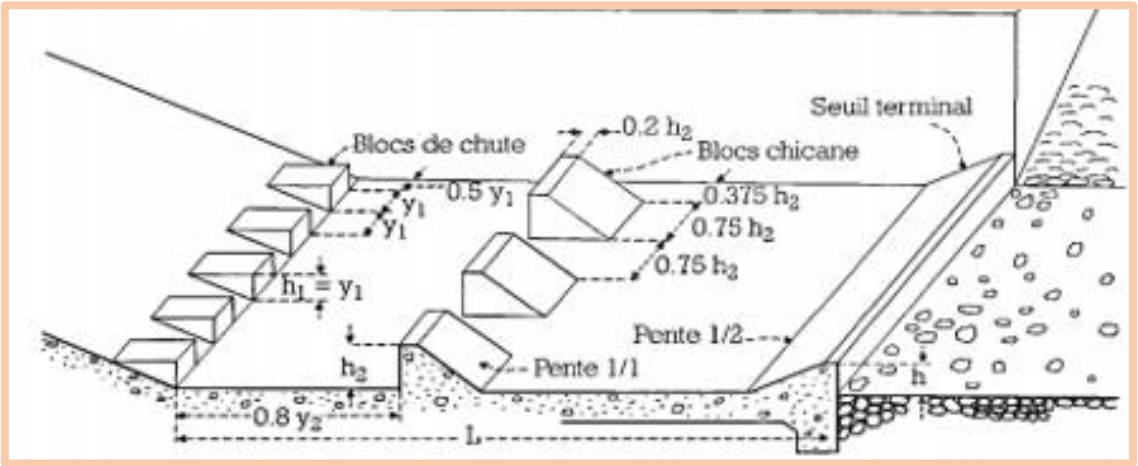


Image 2:Modèle du bassin de dissipation

IV.2.4.2.4. Le chenal d'évacuation

Le chenal d'évacuation sera réalisé afin de cheminer les eaux. Le chenal de restitution situé immédiatement à la sortie du bassin de dissipation permet de restituer les eaux de déversement directement dans le lit du cours d'eau à l'aval. Le chenal aura une largeur égale à la longueur du déversoir et une longueur bien déterminée afin d'avoir un parcours d'écoulement assez long.

Les caractéristiques du chenal seront définies par les lois d'écoulement en surface libre.

IV.2.4.2.5. Ouvrage de prise et de vidange

Un ouvrage de prise est situé sous la digue et est adopté pour le prélèvement d'eau pour l'irrigation des terrains en aval par gravité. Cet ouvrage permettra l'irrigation des cultures en cas de poches de sécheresse en saison pluvieuse et le maraichage en contre saison.

$$Q = c * S * \sqrt{2gh}$$

Q(m^3/s) : Débit transité

h (m) : Charge d'eau

IV.2.5 Notice d'impact environnemental et social.

Le Burkina Faso dispose des textes juridiques qui encadrent les différents secteurs d'activités. La gestion des impacts environnementaux et sociaux est régie par le décret 2015-1187 du 22 octobre 2015 qui à son article 4 classe les travaux, ouvrages, aménagements et activités susceptibles d'avoir des impacts significatifs directs ou indirects sur l'environnement en trois (03) catégories :

- A : Activités soumises à une étude d'impact environnemental et social (EIES) ;
- B : Activités soumises à une notice d'impact environnemental et social (NIES) ;
- C : Activités faisant l'objet de prescriptions environnementales et sociales

Cet ouvrage est classé dans la catégorie B et nécessite la conduite d'une notice d'impact environnementale et sociale. Nous nous limiterons à une analyse synthétique de l'impact du barrage sur l'environnement assorti d'un plan de gestion

V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

V.1 Synthèse des études de bases

V.1.1 Etudes topographiques

L'étude topographique menée sur le site du barrage Doumbala a permis de reporter les informations recueillies sur le terrain en coordonnées x, y, z (terrain naturel, sommets des polygonales, courbes de niveau, ouvrages existants). De cela, un traitement a été fait et un plan d'ensemble du site à l'échelle 1/ 2000èm est établi, Grâce à cette étude, le profil en long de l'axe de la digue aux échelles 1/1 000ème (horizontale) e t 1/100ème (verticale) est produit.;

Tableau 7: coordonnées GPS des points de référence

Point de la polygonale			
Matricule	X	Y	Z
S1	371986,465	14285852,772	301,315
B1	371807,717	1425995,588	304,840
B2	372032,882	1425865,971	303,012
DS1	371896,000	1425828,000	301,283
DS2	371627,343	1425928,492	304,243
Points de l'axe d la digue			
A	371820,12	1425998,73	
C	371610,12	1425997,435	
D	371269,280	1425829,664	

Source : Rapport d'étude topographique du barrage de Doumbala, ERI 2019

V.2. Etudes géotechniques

Une étude géotechnique a été menée sur le site du barrage, et les principales conclusions de cette étude se présentent comme suit :

Pour la tranchée d'ancrage les profondeurs minimales recommandées sont les suivantes :

Deux zones d'emprunts ont été identifiée dans la cuvette et permettent de mobiliser l e remblai argileux nécessaire à la construction la construction de la digue homogène.

V.2 Etude pluviométrique.

Indices des pluies Standard

De l'histogramme des indices de pluies (Figure 1 page 27), les campagnes humides et sèches s'alternent. Les campagnes de 1986 à 2005 sont beaucoup dominées par des légères sècheresses avec seulement six années ayant un IPS supérieur positive. A partir de 2006 jusqu'en 2016 l'IPS est positif avec des valeurs majoritairement comprises entre 0 et 1. Ceci caractérise une humidité légère. Suivant cette évolution nous constatons la pluviométrie.

De l'analyse de toute la série 2012 fut l'année d'extrême humidité.

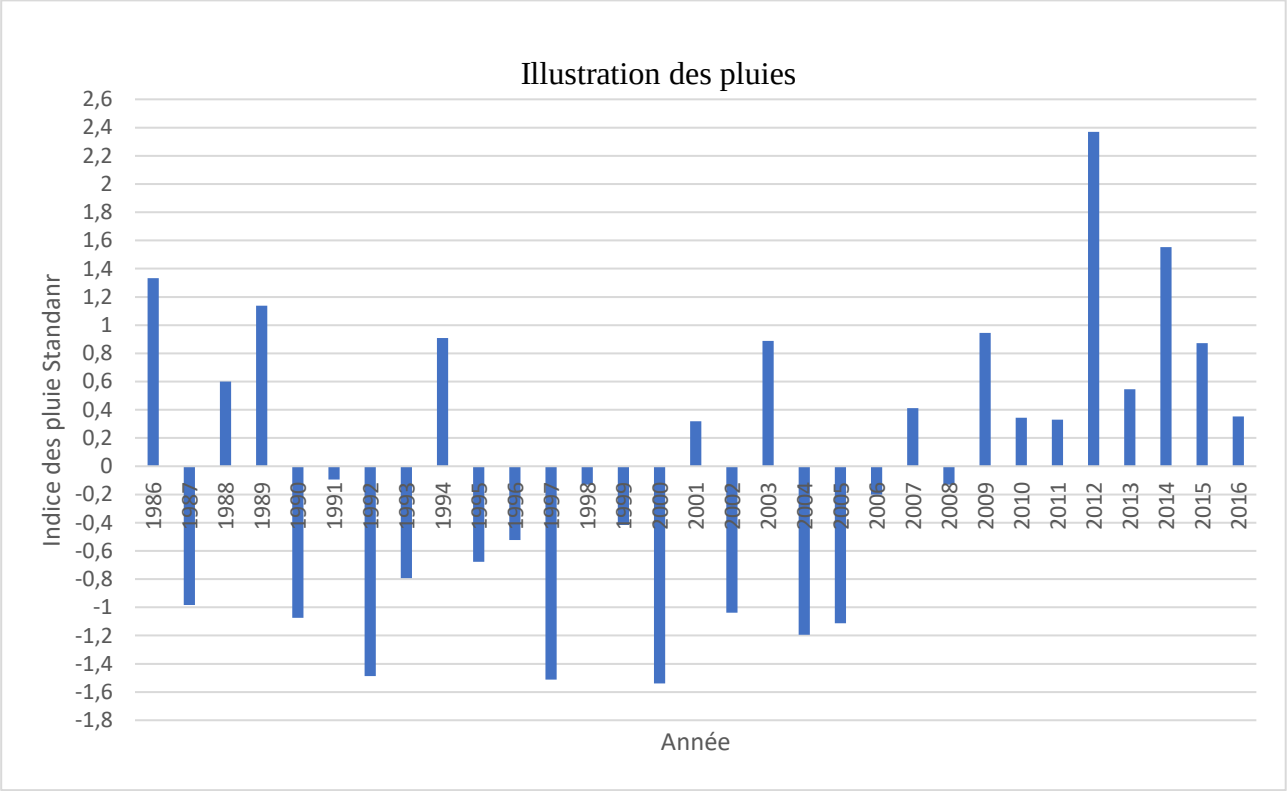


Figure 1: Indices de pluies standardisées

Au regard de cette évolution, on note une tendance à la hausse des précipitations traduisant un probable retour à une situation de pluviosité meilleure. Cette augmentation des précipitations peut s'expliquer par celle des évènements pluvieux de forte intensité au cours de la dernière décennie.

L'analyse statistique de la série des données a été conduite sur l'échantillon des variables pluviométriques recueillies à la station. Les données de la série pluviométrique annuelle ont été

ajustées à la loi de GAUSS, celle de la série des pluies maximales journalières ont été ajustées par la loi de GUMBEL.

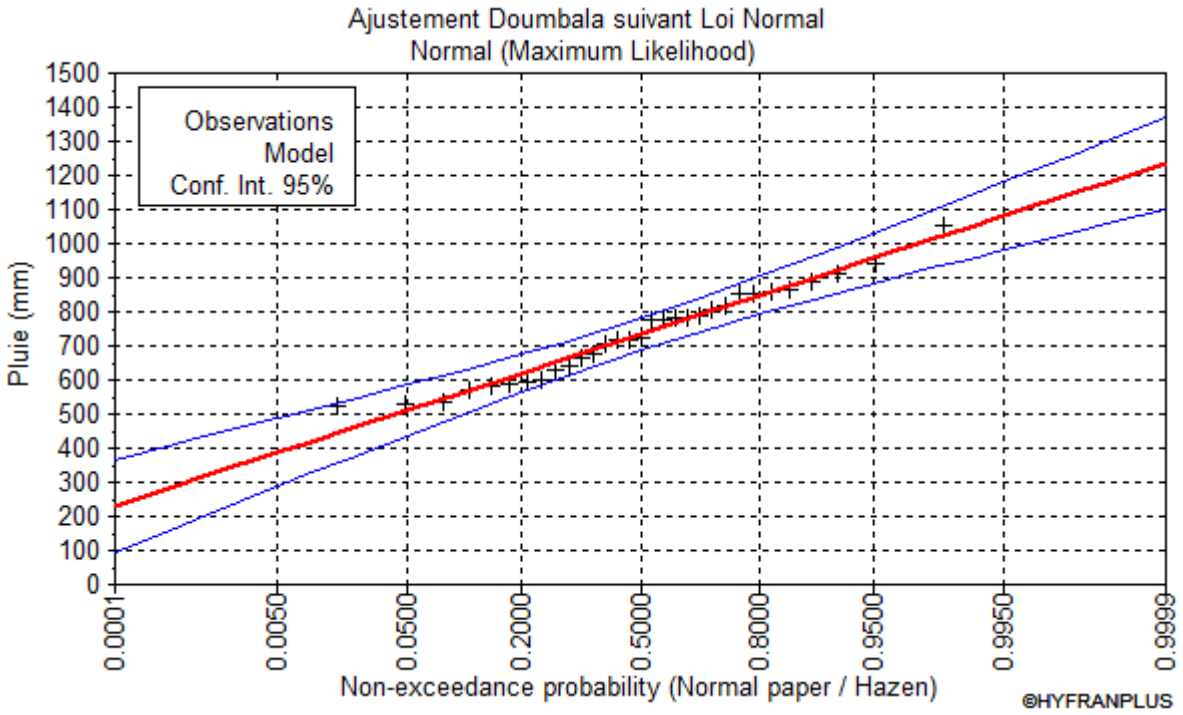


Figure 2: Ajustement à la loi de Gauss

Tableau 8 : Synthèse des pluies annuelles et journalières maximales journalières à Nouna

Pluies périodiques	**Valeurs (mm)**
Pluie annuelle moyenne (Pan)	734,5
Pluie décennale humide	907
Pluie quinquennale humide	843
Pluie quinquennale sèche	626
Pluie décennale sèche	562
Pluie journalière décennale humide (P10)	93,5
Pluie journalière centennale humide (P100)	131,4

La valeur moyenne de la pluviométrie annuelle est de l'ordre de 735 mm/an. La zone du projet est située entre les isohyètes 600 et 750 mm. Cette zone climatique correspond au climat sahélien.[9].

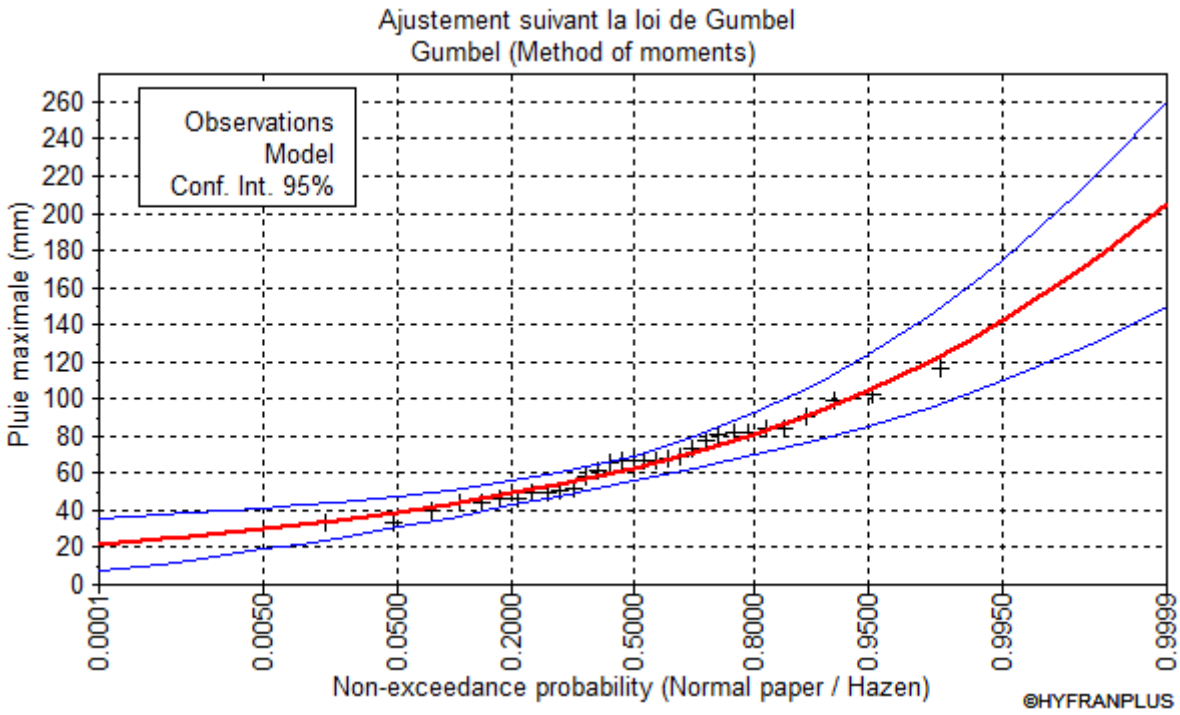


Figure 3: Ajustement à la loi de Gumbel

Tableau 9: Analyses des séries de pluies maximales journalières à la station de Nouna

Désignation	Résultats
Station	Nouna
Taille de l'échantillon	31
Périodes de mesure	1980 - 2016
Nombre d'échantillons valides	31
Valeur maximale	116,9
Valeur minimale	33,3
Moyenne	66,48
Ecart type	20,68
Médiane	67,30
Pourcentage intervalle de confiance	95%

La série des données étant pour 31 ans, elle est représentative pour une exploitation en vue d'effectué un ajustement sur les données météorologique. La distribution de toute la série dans l'intervalle de

confiance de 95% illustre que presque tous les points de la série sont situés dans l'intervalle de confiance. La loi est alors acceptée.

V.3 Etude Hydrologique

L'étude hydrologique nous a permis de caractériser le bassin versant du barrage d'une part et de déterminer la crue de projet d'autre part.

V.3.1 Caractéristiques du bassin versant

V.3.1 .1 Limites et paramètres morphologiques

Le bassin versant se définit comme la surface topographique totale drainée par un cours d'eau et ses affluents. Il est considéré comme un " système "qui est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire. Les coordonnées de l'exutoire sont : **UTM 30 Zone P X= 372009 Y=1425881**

Tableau 10 : Synthèse des caractéristiques physiques du bassin versant

Paramètre	**Valeur**
Superficie du bassin versant (km^2)	222,70
Périmètre du bassin versant (km)	87,90
Altitude maximale (m)	475,00
Altitude minimale (m)	312,00
Indice global de pente corrigé (m/km)	6,03
Longueur du plus long cours d'eau (km)	26,28
Longueur totale du réseau hydrographique (km)	565,07

Les détails des caractéristiques du bassin versant sont en annexes

Une très bonne partie du bassin versant (plus des 2/3 de la superficie) se situe dans le territoire malien. Son réseau hydrographique est de l'ordre 4. (Voir ci-dessous Image 3)

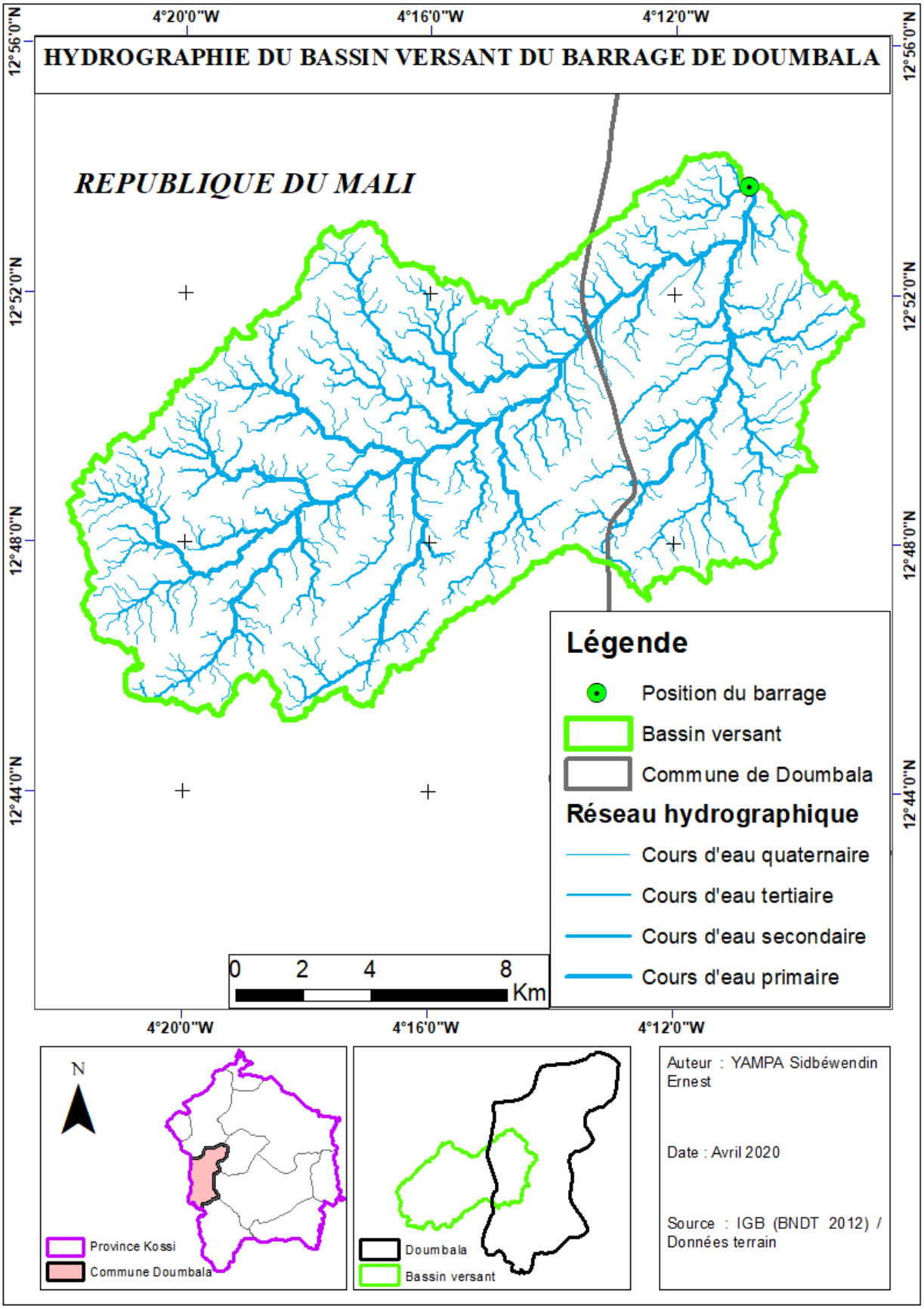


Image 3: Carte hydrographique du bassin versant du barrage de Doumbala

V.3.1 .2 Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse le pourcentage de surface du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

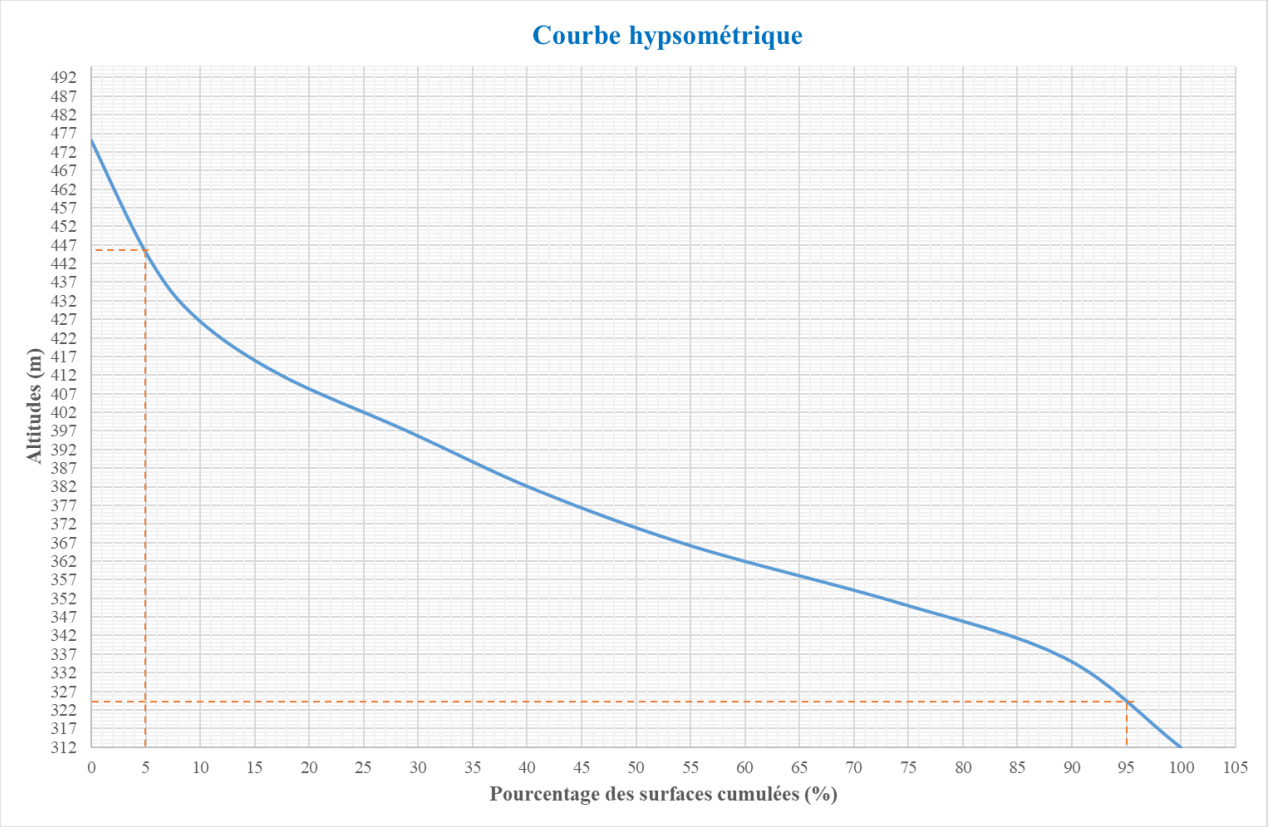


Figure 4 Courbe hypsométrique du bassin versant

On en déduit les caractéristiques suivantes

Tableau 11: Caractéristiques de la courbe hypsométrique

Cote	Z_{max}	Z_{min}	$Z_{5\%}$	$Z_{95\%}$
Valeur	475	312	445.5	324

V.3.1 .3 Type de relief et perméabilité du bassin versant

Le bassin versant de Doumbala a la forme allongée avec un indice de compacité supérieur à 1 (1,66). La dénivelée spécifique (Ds) du bassin est comprise entre 50 m et 100 m (90) et d'après la classification des reliefs selon celle de l'ORSTOM, le relief du bassin versant du barrage de Doumbala est de type modéré (R3).

Le substratum du bassin est composé de roches imperméables d'une part et perméables d'autre part. Ce contexte géologique montre que le bassin est sur une assise relativement imperméable et par conséquent, il est considéré comme bassin relativement imperméable (RI).

V.3.2 Prédétermination de la crue de projet

V.3.2.1 Crue décennal

Les paramètres ayant permis à déterminer la crue décennale sont dans le tableau ci-dessous

Tableau 12 : Calcul de la crue décennale

Désignation	**Symbol/ unité**	**Valeurs**
Surface	S [Km²]	222,70
Pluviométrie annuelle	[mm]	734,46
Pluie journalière décennale	[mm]	93,47
Pluie journalière centennale	[mm]	131,37
Indice global de pente	Ig [m/km]	6,03
Indice de compacité	Ic	1,66
Coefficient d'abattement	A	0,69
Coefficient de ruissellement décennal	Kr10 [%]	**15,24**
Temps de base décennal	Tb10 [mn]	1184,27
Temps de montée décennal	Tm10 [mn]	357,52
Coefficient de majoration du débit	m	1,03
Coefficient de pointe de débit	A	2,40
Crue décennale (méthode ORSTOM)	Q10 [m3/s]	43,68
Crue décennale (méthode CIEH)		52,51
Crue décennale retenue		**52,51**

V.3.2.2 Période de retour

La période de retour est obtenue par les travaux de G Degoutte 1997 et est fonction de la hauteur et du volume du barrage. Après calcul on a $H^2\sqrt{V} = 3{,}5^2\sqrt{0{,}62} = 9{,}62$. Cette valeur correspond à une période de retour de 500 ans car compris entre 5 et 30. Cependant pour des raisons économiques nous prendront une période de retour de 100 ans.

V.3.2.3 Crue centennale

Les résultats issus des calculs de débit sont consignés dans le tableau (Tableau 13). Il s'agit d'un passage du débit décennal au débit centennal. Ceci se fait à l'aide du coefficient C appelé coefficient Gradex.

Notre bassin étant relativement imperméable, nous avons retenu la valeur maximale des deux méthodes. Au regard de la check-list contenu dans le bulletin de la FAO 54, le débit maximal obtenu en suivant la méthode ORSTOM a été réduit à 43%. Cette réduction est a été opérée en fonction de l'indice de compacité de Gravelius. En ce qui concerne la méthode CIEH le check list propose une réduction du débit suivant la forme du bassin versant. Dans notre cas, le bassin versant est constitué de deux (02)

Le débit du projet Q100 retenu est donc 157 m3/s

Tableau 13: Estimation de la crue du projet

Méthode	CIEH				ORSTOM		GRADEX		
Débit en m3/s	$Q_{10.1}$	$Q_{10.2}$	Q_{moy}	$Q_{ajusté}$ (Check- list)	Q10	$Q_{ajusté}$ (Check-list)	Q10	C	Q100
	50,39	52,82	51,61	41,28	76,62	43,68	**43,68**	3,60	**157,21**

V.3.2. 4 Hydrogramme des crues

L'hydrogramme de crue renseigne sur le débit maximum de la crue (157,21 m3/s) et le débit de discontinuité (65,65 m3/s) qui indique le changement de pente lors de la décrue

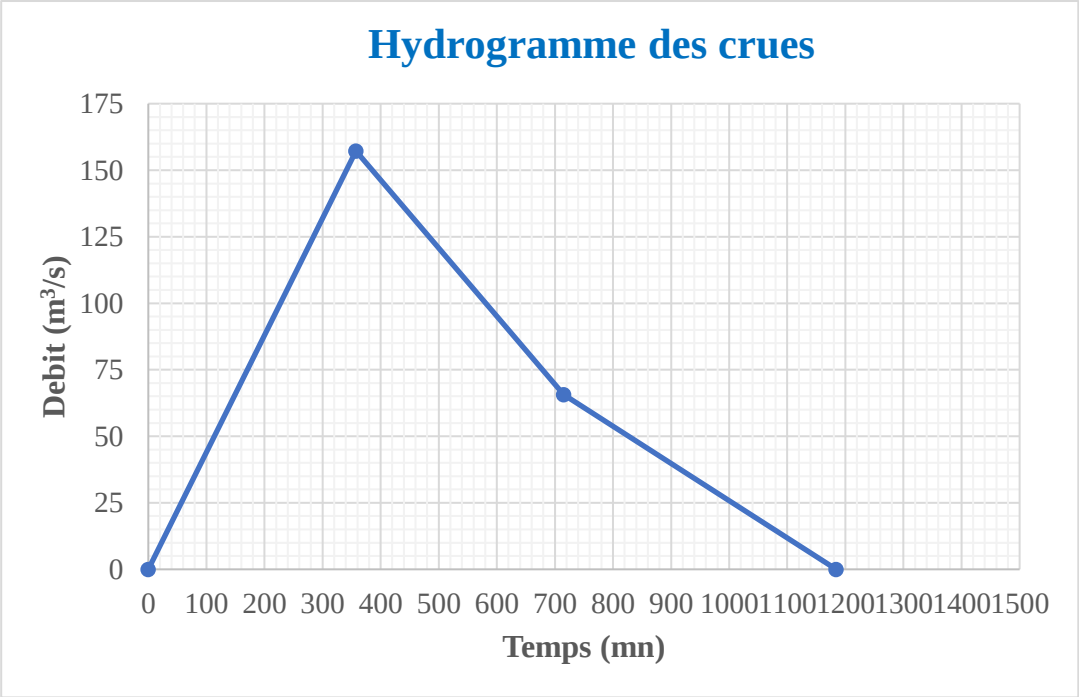


Figure 5: Hydrogramme des crues

V.3.2.5 Laminage des crues

Dans les petits bassins versants, les débits de crue instantanés sont souvent relativement élevés, mais le volume des crues est en général assez faible et les crues peuvent être laminées de façon appréciable par stockage dans la tranche disponible entre la côte du déversoir et celle des plus hautes eaux. Le débit qui passe dans l'évacuateur de crue (Qe) est inférieur à celui de la pointe de la crue à l'entrée de la retenue (Qc). L'effet de laminage de crue dépend de la forme de ‘hydrogramme de la crue entrant dans la retenue, de la capacité d'évacuation du déversoir de crue et de la forme de la partie supérieure de la retenue.

V.3.2.6 Crue de rupture

La crue de rupture correspond à la crue que le barrage doit supporter dans les conditions exceptionnelles sans subir des dommages sur son état de fonctionnement. Cet ouvrage pourra supporter une survenue de crue de 551,81 m^3. (Tableau 14)

Tableau 14:Synthèse des paramètres de la crue de rupture

Paramètres	**Valeur**
Longueur du déversoir L (m)	100,00
Charge déversante du seuil (m)	0.75
Revanche (m)	0,75
Revanche totale (m)	1,5
Longueur de la digue (m)	692,00
Longueur digue - Longueur du déversoir L (m)	592,00
Débit de Q_{100} (m^3/s)	**157,21**
Débit de rupture Q_{rupt} (m^3/s)	**551,81**
Débit de rupture/Débit de projet (%)	**351,00**

V.4. Etude de la retenue

V.4.1. Courbe hauteur – volume / Hauteur – Surface

Après implantation de l'axe de la digue, le tracé des courbes hauteur - volume hauteur - surface a été obtenu en estimant les surfaces moyennes entre les plans définis par les courbes de niveau se refermant sur l'axe du barrage sur le plan topographique.

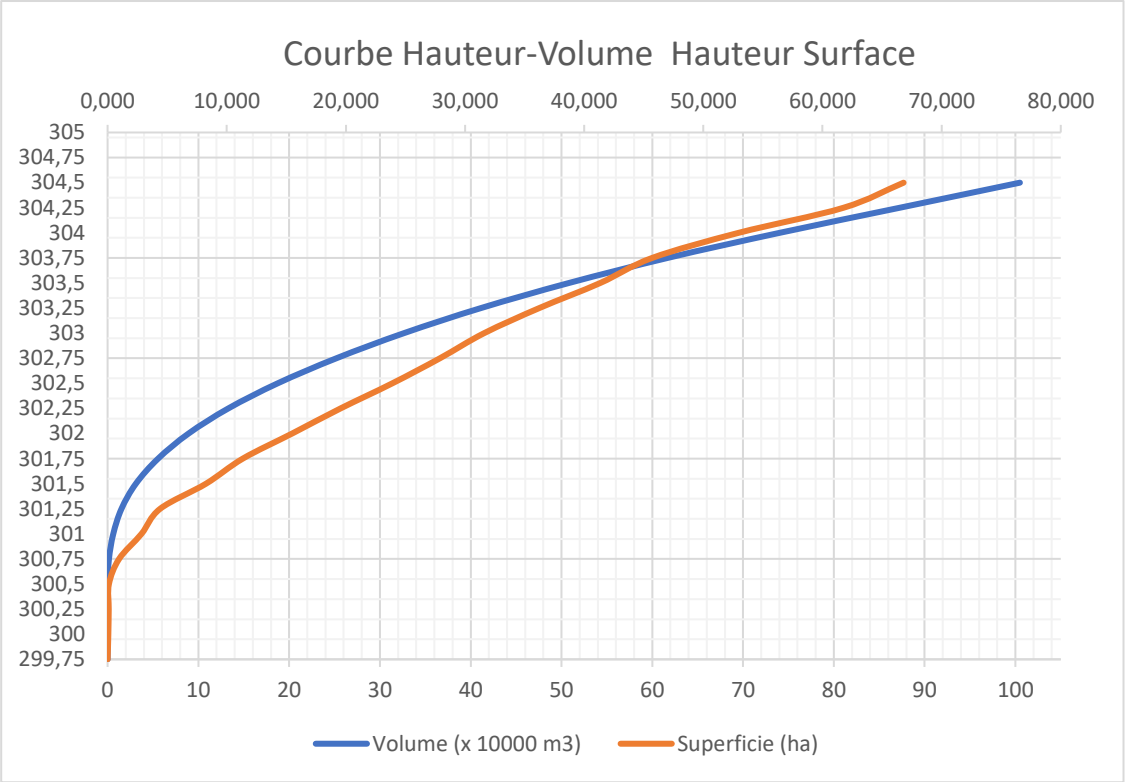


Figure 6 : Courbe hauteur volume – hauteur surface

La topographie favorise la rétention d'au moins un million de mètre cube avec une hauteur de 4.5 m. Cependant en se référant aux données hauteur surface, on peut constater que la cuvette n'est pas trop encaissée. Pour mobiliser 1 million de m3, il faudra une superficie d'au moins 70ha. Dans les zones encaissées, on aura pu mobiliser un million de mètres cubes avec une superficie de 20 ha.

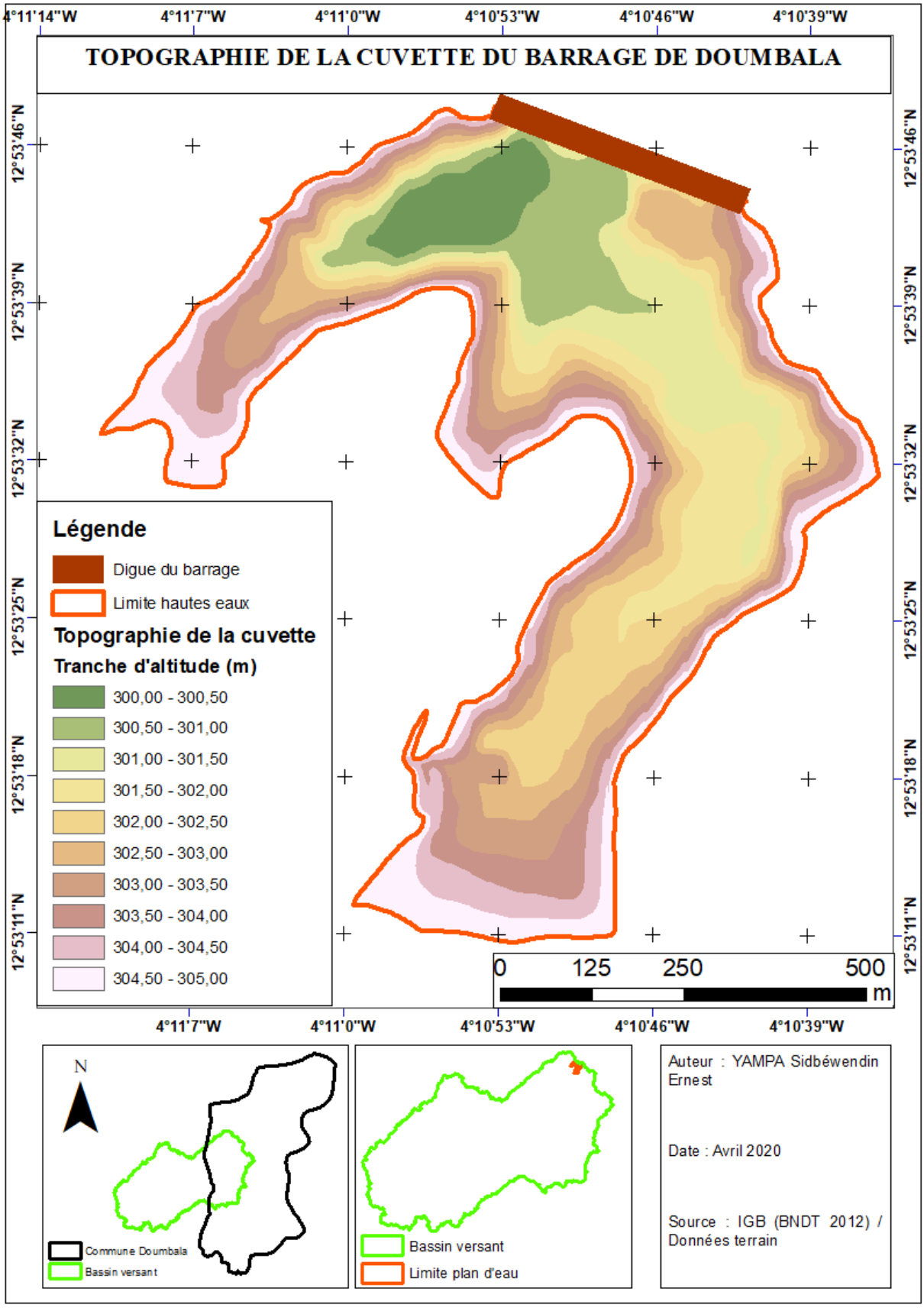


Image 4:Topographie de la cuvette du barrage de Doumbala

V.4.2. Evaluation des apports liquides

Après la prédétermination de la crue de projet et de l'étude topographique, la prochaine étape consiste à vérifier si le bassin versant autorise le remplissage de la retenue et à calculer le risque de défaillance. En effet, il est important de connaître les apports annuels afin de dimensionner les réservoirs adaptés aux conditions hydrologiques du bassin versant. A cet effet, la méthode du déficit d'écoulement annuel et la méthode Rodier ont été utilisées pour l'évaluation des apports.

En rappel, quatre méthodes d'évaluation des apports liquides sont décrites dans le manuel FAO bulletin 54. Cependant, par rapport au champ d'application de chaque méthode décrit dans le manuel d'évaluation des crue et apports, nous n'avons retenu que la méthode de Rodier en plus de la méthode du déficit d'écoulement.

V.2.2.1. La méthode de Rodier

La méthode de Rodier s'appuie sur la notion de bassin type. Nous avons identifié le bassin de Tambas au Niger ayant les caractéristiques suivants S = 280 km^2 ; Pmed= 460mm et Kmed=10.5 comme étant celui qui se rapproche le plus du bassin versant qui nous concerne. Bien que la pluie médiane annuelle soit inférieure à celle du « Bassin de Doumbala », ce bassin type est le mieux qui donne des caractéristiques géologiques aussi proche de la zone d'étude comparativement aux autres bassins types.

Par ailleurs, en consultant la thèse de KOUANDA Bouraïma (2019), dont l'étude a concerné le complexe Mouhoun supérieur, on se rend compte que le choix du bassin type ayant coefficient médian d'écoulement est bien justifié car contenu dans l'intervalle [3 ;10.5].

En s'appuyant sur la courbe de distribution des lames écoulées pour des quantiles critiques secs ainsi que la pluie médiane annuelle, nous obtenons des écoulements générés par ces quantiles sur le bassin versant. (Tableau 15 ci dessous)

Tableau 15 : Synthèse des apports suivant la méthode de RODIER

Période de retour (année)	Pluviométrie (mm)	Lame écoulée (mm)	Ke (%)	Superficie (Km^2)	Apports liquides (m^3)
Année décennale sèche	562	29,48	5,25	222,70	6 565 884
Année quinquennale sèche	626	46,04	7,35	222,70	10 253 323
Année moyenne	734	77,12	**10,50**	222,70	17 173 998

Dans notre cas, de l'analyse statistique des données issues de la station météorologique de Nouna, la médiane est 98.2% de la moyenne pluviométrique. En outre, le manuel de la FAO bulletin 54 retient que pour toute la zone sahélienne proprement dite, on admettra que la moyenne est supérieure à la médiane de 2 %.[10]. Les données étant proches l'une de l'autre nous utiliserons la valeur médiane obtenue à la station météorologique de Nouna.

V.2.2.1. La méthode du déficit d'écoulement annuel

Cette méthode tient compte de des paramètres température et pluviométrie de la zone d'étude. La station synoptique la plus proche étant celle de Dédougou, nous avons utilisé les données y afférentes.

Tableau 16: Synthèse des apports suivant la méthode de COUTAGNE

Période de retour (année)	Pluviométrie (mm)	Lame écoulée (mm)	Ke (%)	Superficie (Km2)	Apports liquides (m3)
Année décennale sèche	562	42,90	7,64	222,697	9 554 656
Année quinquennale sèche	626	67,00	10,70	222,697	14 920 607
Année moyenne	734	112,22	15,28	222,697	24 991 555

Les deux méthodes fournissent des apports théoriquement supérieurs à la capacité de la retenu (limite topographique).

L'objectif du projet est de pouvoir mobiliser une certaine quantité d'eau (au moins cinq cent mille (500 000) mètres cubes). Au regard des deux approximations, le cas le plus défavorable est celui de l'approximation suivant la méthode de Rodier. Cette méthode, basée sur le bassin type, fournit des apports faibles comparativement à la méthode de déficit d'écoulement. Néanmoins elle satisfait aux exigences du maitre d'ouvrages. En rappel, les termes de référence suggèrent que le bassin puisse mobiliser au moins cinq cent (500 000) de mètres cube d'eau.

V.4.3. Evaluation des dépôts solides

Le bassin versant du barrage de Doumbala a un relief modéré la courbe hypsométrique et le dénivelé spécifique. Il comporte également des villages. Ainsi, les paramètres anthropiques h et morphologiques r sont de 0,4 chacun [11]. De plus la superficie et la pluviométrie étant respectivement 222,69 km² et 734,5 mm, la dégradation spécifique annuelle selon la formule de KARAMBIRI est de **111,87 $m^3/km^2/an$** et de manière implicite un volume de dépôt solide annuel de **24 913,27 m3/an**. Les formules proposées par les autres auteurs fournissent des valeurs plus

importantes que ceux de KARAMBIRI : formule de **GOTTSCHALK (33 722,27 m3/an) et formule de GRESILLON (38 962,57 m3/an)**

Au regard des différentes valeurs dont l'écart est très grand en fonction des auteurs, il s'avère nécessaire de faire un choix. De ce fait l'estimation des dépôts solides en prenant la moyenne des trois résultats sera utilisée pour les analyses ultérieures. La méthode de KARAMBIRI seule aussi pouvait être choisi en se basant sur le fait que cette méthode intègre non seulement des paramètres réels (morphologie et anthropique) qui peuvent influencer un bassin mais aussi du fait que cette formule a été implémentée au niveau du Burkina donc tient compte du contexte hydrologique. Le dépôt solide à l'horizon du projet **(20 ans**) est donc estimé à **650 654,03 m^3.**

V.4.4. Evaluation des pertes et des besoins

V.4.4.1 Infiltration

L'infiltration moyenne au Burkina est comprise entre 1 et 3 mm (GUEYE, 2012). Il est à noter que cette infiltration diminue au fil du temps avec le gonflement des particules fines. Dans le cadre de notre projet l'infiltration moyenne considérée **est pris égale à 1,5 mm au cours de la campagne sèche d'octobre à Juin, on estime l'infiltration à 411 mm. Cette valeur prise se justifie par le fait que, non seulement avec les dépôts de matériaux fin la porosité diminue, mais aussi, la nappe d'eau est superficielle (moins de 4 m de profondeur).**

V.4.4.2 Evaporation

Les données d'évaporation utilisées sont celles de la station synoptique de Dédougou. A partir des valeurs d'évaporations d'un bac, il est possible d'établir une corrélation avec les valeurs d'évaporations d'un Lac (COMPAORE, 1996). Dans notre cas l'évaporation est de l'ordre de **1391,0 mm** par an.

Tableau 17: Synthèse des pertes infiltration et évaporation

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Total
Evaporation retenue (mm)	145,1	146,7	156,1	157,6	149,9	167,5	160,5	163,8	144,4	1391,6
Infiltration (mm)	46,5	45	46,5	46,5	43,5	46,5	45	46,5	45	411,0
Total (mm)	191,6	191,7	202,6	204,1	193,4	214,0	205,5	210,3	189,4	1802,6

Etant dans la zone sahélienne où les pluies ne durent que 3 à 4 mois, (surtout juillet, aout et septembre), l'estimation des pertes par évaporation et par infiltration a concerné **9** mois.

L'évaporation retenu est de l'ordre de 1,4 m. cette valeur élevée, ne fait pas exception des autres réservoirs de petits tailles réalisés au Burkina Faso. En effet, selon l'étude menée par le comité national de barrage du Burkina (CNBB), l'évaporation est la principale cause des pertes d'eau dans les réservoirs, qui souvent peuvent avoir une hauteur d'eau moyenne inférieure à la hauteur de l'évaporation [12].

V.4.5. Evaluation des besoins en eau

V.4.5.1. Besoin agricole

Pour l'évaluation des besoins en eau des cutures une enquête fut menée et complétée par une étude pédologique afin de savoir quels types de cultures pourraient être pratiquées[3]. Les conditions pédologiques sont favorables à la culture de la laitue, de l'arachide, des tomates des choux de l'aubergine du maïs et des oignons. Dans la simulation des besoins en eau des cultures l'oignon semble être la culture la plus contraignante parmi celles précédemment citées. Dans les simulations le premier scenario et le deuxième se coïncide. En effet la campagne contraignante est également celle la plus étalée sur la période sèche (de novembre à mars). Les besoins d'eau agricole sont donc estimés à **136 644** m^3 par campagne pour une superficie brute d'exploitation de 10 ha.

V.4.5.2 Besoin humain

Selon Résultat de l'INO 2019 (Mars 2020) le taux d'accès à l'eau potable dans la commune de Doumbala est de **72,60%.** [13]. Par ailleurs selon les critère de desserte de l'eau aux humains, les eaux surfaciques non traitées ne sont pas pris en compte [14]. Ce faisant, dans le cadre de ce projet, les besoins domestiques ne seront pas intégrés.

V.4.5.2 Besoin animal

La zone du projet fait frontière avec le Mali, zone où règne la transhumance. Afin de tenir compte des besoins de ces animaux Compaoré (1996) estime qu'un animal ne peut s'abreuver à une réserve que s'il pâture à moins de 10 km du barrage. Ainsi dans la zone sahélienne, on estime au maximum 6000 bêtes par jour avec une consommation moyenne de 30 l par tête et par jour [8]. Cette estimation donne **32580** m^3.

La commune dispose de bovins, d'ovins, de caprins d'Asins et de volailles. Pour cette présente étude il n'a été considéré qu'un tertiaire de l'élevage de toute la commune. En utilisant des facteurs de pondération on retiendra 12 561 têtes de bovin consommant **85 182 m^3**.

Le besoin total pastoral est de **117 762 m³.**

V.4.6. Courbe d'exploitation

A l'issue de la simulation nous constatons que la retenue d'eau est en mesure de satisfaire par irrigation 10 hectares d'oignon en saison sèche pour le maraichage en une seule campagne. Nous considérons une efficience d'irrigation Ea =60% (climat soudano sahélien donc modéré).

L'exploitation du barrage est représentée par le graphique ci-dessous.

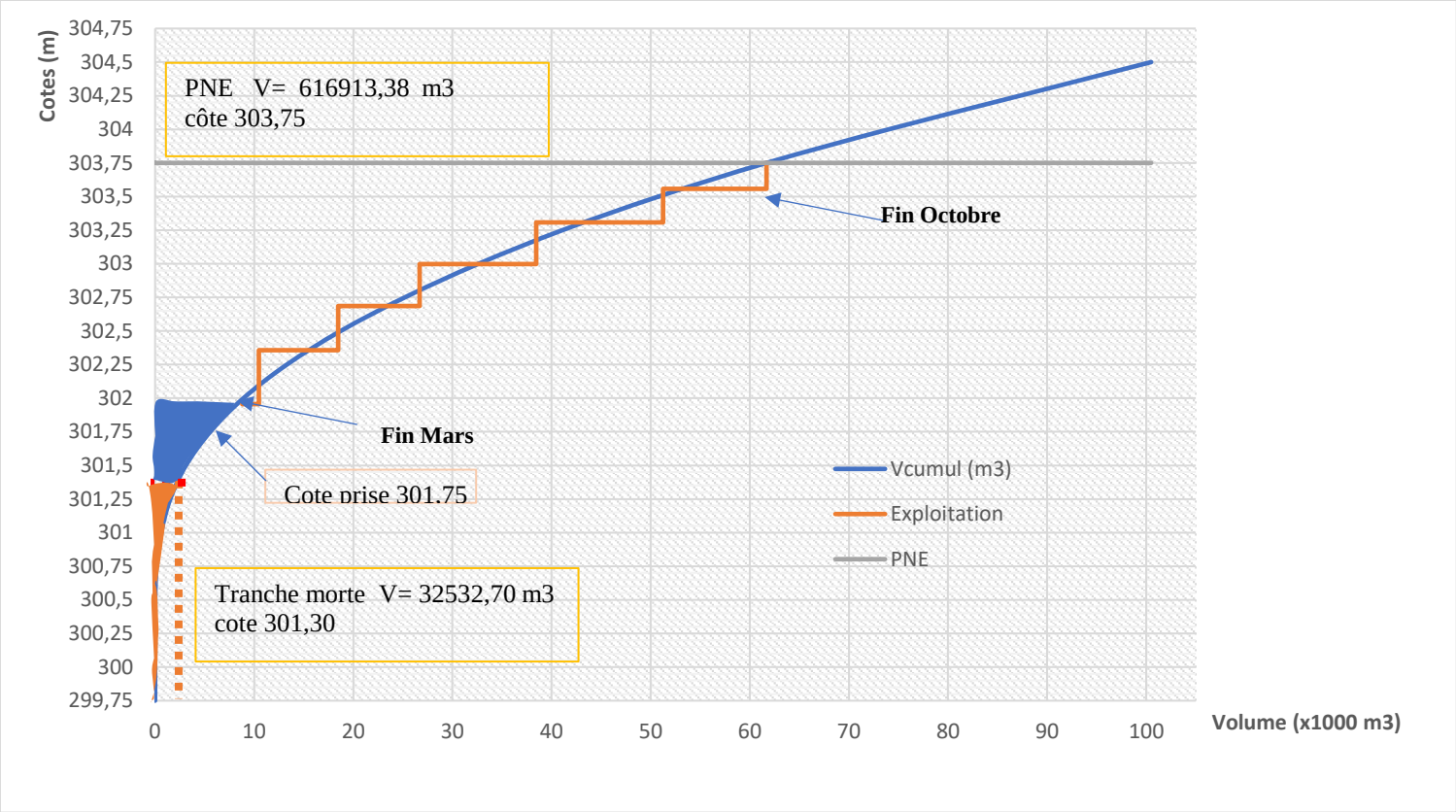


Figure 7 : Courbe d'exploitation de la retenue

En fin Avril, on se retrouve à une côte d'eau de 301.96 m après avoir irrigué **10 ha d'oignon** et abreuvé 17 000 bovins une disponibilité toujours de l'eau de 70000 m3 en fin de saison y compris les dépôts solides.

Tableau 18: Synthèse des besoins et pertes

Désignation	**Valeur**	**Pourcentage**
Volume retenu (m3)	616 913,38	
Besoin Agricole (m3)	157518,9529	**26%**
Pastoral (m3)	117762,3395	19%
Humain (m3)	0	0%
Reste fin exploitation (m3)	37467,30	6%

Désignation	Valeur	Pourcentage
Depot (m3)	32532,70	5%
Infiltration+eva mm	1401,338205	44%

Ainsi la consommation s'estime à 51% du volume mobilisé contre 49% pour les pertes.

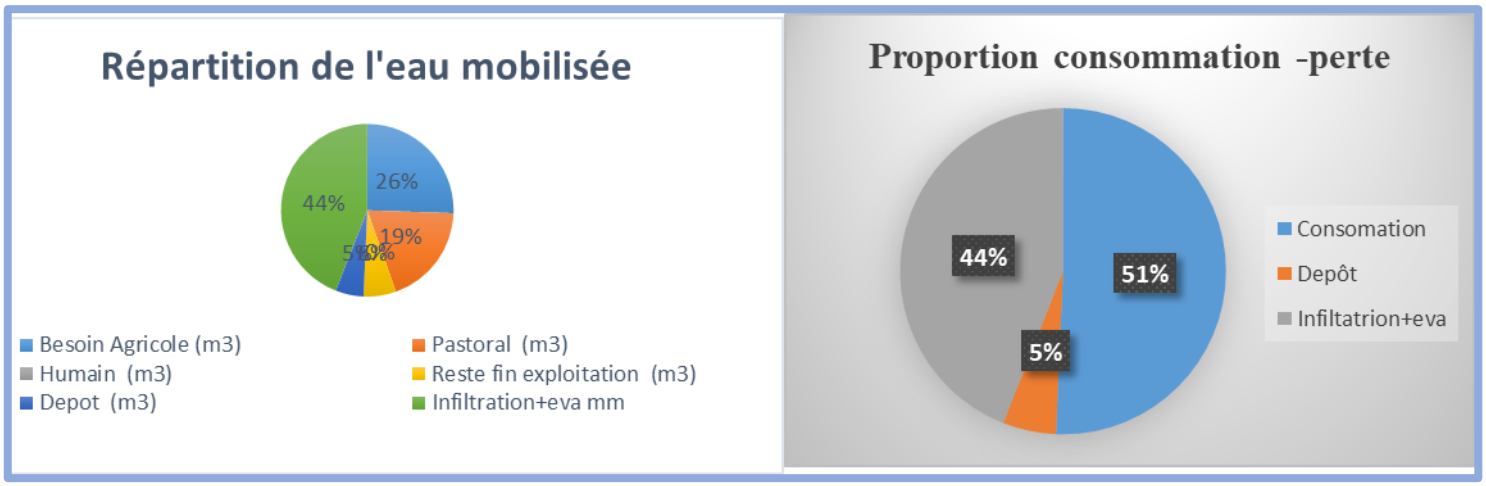


Image 5: Exploitation de l'eau en %

V.5. Conception et dimensionnement du barrage

V.5.1. Digue

La digue du barrage de Doumbala est en terre homogène et est muni de drain horizontal et d'un drain vertical qui ont pour effet de rabattre la ligne phréatique à l'intérieur du remblai. Les résultats de la conception de la digue sont résumés dans le tableau ci-dessous. Elle est protégée à l'amont par du perré maçonné reposant sur une couche latéritique de 10 cm. Une butée est construite à l'amont tant dis qu'à l'aval c'est un drain qui sert à collecter les eaux de ruissellement sur la crête de la digue ainsi que celles du talus. Le talus aval est recouvert de la terre latéritique. Etant donné qu'il s'agit d'une digue routière, sur son amont est placé un mur parapet permettant de sécuriser les pratiquants de la voie.

Tableau 19 : Caractéristiques de la digue du barrage

Paramètres	Valeurs
Hauteur du déversoir (m)	3,5
Revanche (m)	0,75
Charge déversante sur seuil h (m)	0,75

Paramètres	**Valeurs**
Hauteur du barrage ou de la digue (m)	5,00
Largeur en crête de la digue (m)	3,5
Largeur de fondation (m)	26
Longueur de la digue (m)	693
Pente des talus amont et aval	1V /2,5H
Pente des talus amont et aval	1V /2H
Longueur du drain horizontal(m)	6
Epaisseur du drain (cm)	50
Longueur du drain vertical (m)	0,5
Epaisseur du drain (cm)	3,5
Débit de fuite (m3/s)	4,67E-10

Les détails du calcul des caractéristiques sont en annexe (

Annexe 4 : caractérisation du bassin versant

, page 70).

V.5.2. Stabilité des pentes de talus

La stabilité de la digue a été vérifiée à partir du logiciel Géoslope.

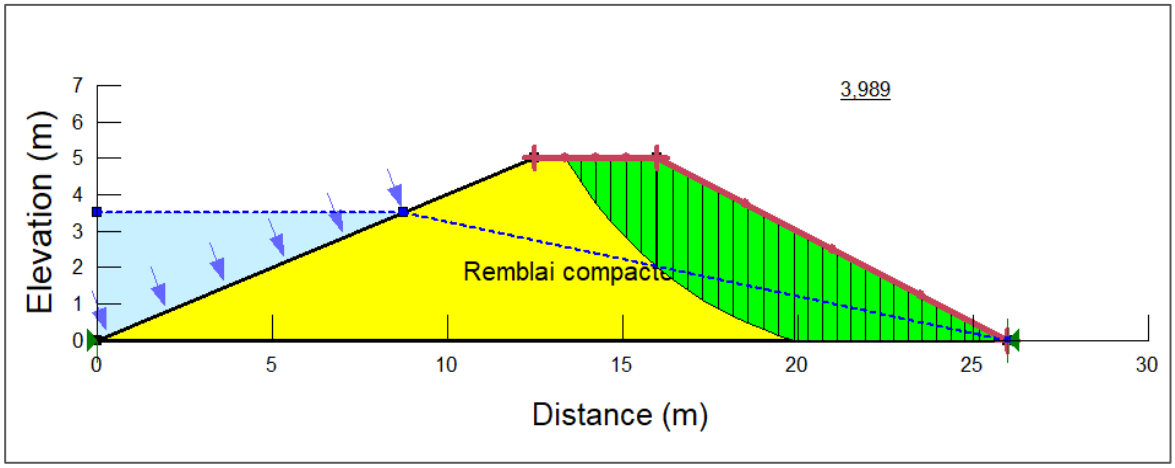


Figure 8 : Modèle d'étude de la stabilité des pentes

Nous trouvons un facteur de sécurité Fs égal à 3,989. Ce résultat est supérieur au Fs minimal qui est égal à 1,2 pour la méthode de Bishop. La stabilité de talus est assurée.

Nous pouvons déduire de cela que les pentes de talus de la digue sont stables.

V.5.3. Protection des talus

La protection des pentes des talus est d'épaisseur 50 cm. Les détails sont dans le tableau ci-dessous.

Protection du talus amont	Le talus amont sera protégé contre le batillage par une couche de perré sec en enrochement de moellons latéritiques ou granitiques de 0,50 m d'épaisseur, soigneusement rangés à la main et destinés à éviter que les matériaux terreux qui constituent le barrage ne soient érodés par les vagues. Les enrochements seront posés sur une couche de pose de grave latéritique d'une épaisseur de 0,10 m.

Protection du talus aval	Nous adoptons de recouvrir le talus aval avec la même couche d'enrochement qu'en amont afin de protéger le talus aval en cas de submersion de la digue. 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.
Protection de la crête de la digue	La crête de la digue sera protégée par des murets de crête en maçonnerie de moellons de dimension 0,5 m x 0,5 m et recouverte par du matériau latéritique sur une épaisseur de 0,2 m. elle aura un devers orienté vers le talus aval de 1% afin de faciliter l'évacuation des eaux de pluie. Du coté amont, il s'agira d'un mur parapet en maçonnerie de moellon de dimension 1mx50m.

V.5.4. Tranchée d'ancrage de la digue

Le site du barrage se situe dans la zone sédimentaire. Les points sondage géotechniques réalisés sur l'axe de la digue aux profils P26 (à la profondeur 1.51-4.80), et P26 (à la profondeur 2.06-5.06) révèlent que l'axe de la digue traverse respectivement des couches du sable-limoneux et de limon-sableux. A partir de ces profondeurs on rencontre des venues d'eau[15]. Pour rencontrer un sol de bonne portance, il faut aller jusqu'à 10 m de profondeur dans certains profils. Dans de pareilles circonstances plusieurs options et technologies existent. En effet, pour la plupart des petits barrages, d'une hauteur déversante de 3.5 m ou d'une hauteur totale de 5 m, la profondeur de la tranchée est inférieure ou égale la hauteur de la digue (Barrage de La, Barrage de Sougué, Barrage de Razinga…).

De ces résultats d'analyses géotechniques, une profondeur d'ancrage de plus de 10 m est nécessaire par endroit. Cela rendra le coût du projet excessif. La pratique courante qui consiste à réaliser une tranchée d'ancrage sous le remblai, ayant en sa largeur est de 3.5 m (largeur de l'engin) et sa forme trapézoïdale nécessite d'être combiné avec un tapis argileux sur les profils présentant de venues d'eau importante. Cette technique permet de limiter la profondeur d'ancrage de la tranchée et d'éviter d'abandonner le projet pour des raisons financières.

Pour ce qui est de la regle de LANE, le coefficient de la règle de LANE retenu est C=3 en lit mineur tout comme en rive gauche et droite pour le calcul de la profondeur. La tranchée d'ancrage est creuse sur toute sa hauteur à l'aide d'une pelle mécanique se plaçant sur l'axe de la fouille. Le matériau extrait est déposé sur le bord aval. Le remplissage de la tranchée en argile doit se faire par couche de 20 cm et bien compactée dynamiquement.

Partant de ces résultats, nous avons vérifié s'il y a un phénomène de renard avec la règle de LANE.

V.6. Dimensionnement de l'évacuateur des crues (déversoir et des ouvrages annexes)

V..6.1. Le déversoir

Les choix du type de déversoir est imposé par le maitre d'ouvrage : **digue en terre surmontée d'une dalle en béton armé submersible de 20 cm d'épaisseur faisant office ce radier**. Depuis les 2000 et même bien avant cette date, les ingénieurs de l'OHNBA avaient trouvé des solutions pour réaliser les barrages de la façon la plus économique[16]. Ils s'étaient basés sur la disponibilité des matériaux et le coût de l'ouvrages par rapport à son importance (sa capacité). Les succès de leur réalisation **des barrages en terre avec des déversoirs types digue en terre** a été retenu. Le seuil est à la cote PEN (303,75).

Sachant que la submersion d'un barrage en terre au passage d'une forte crue est toujours un phénomène particulièrement dangereux qui entraine bien souvent la rupture du remblai, les ingénieurs de l'entreprise ERI, du bureau de contrôle ainsi que ceux de la DGIH (MEA) grâce à une large expérience dans l'exécution des petits barrages, il a été retenu de :

- protéger le talus amont à l'aide de perré maçonné ;
- revêtir la crête en béton armé qui sera coulé en plot de 5m et d'épaisseur 25 cm ;
- réaliser au talus aval un revêtement en béton armé d'épaisseur 25 cm ;
- un bassin de dissipation ou bassin à ressaut immédiatement après le seuil.

Les itérations successives pour tenir compte du laminage de la retenue ont permis d'obtenir une longueur déversante de **100 m**, avec une charge de 0,75 m [6] cette charge est fonction de matériaux constituant le corps du déversoir. Le débit évacué est de $144{,}63\ m^3/s$. Des rampes de 5 m de part et d'autre avec des pente de 30%.

V.6.2. Etude de la stabilité du déversoir

La vérification de la stabilité du déversoir se fait de la même manière que celle de la digue à la seule différence de la vérification du radier. Sa larguer en crêt

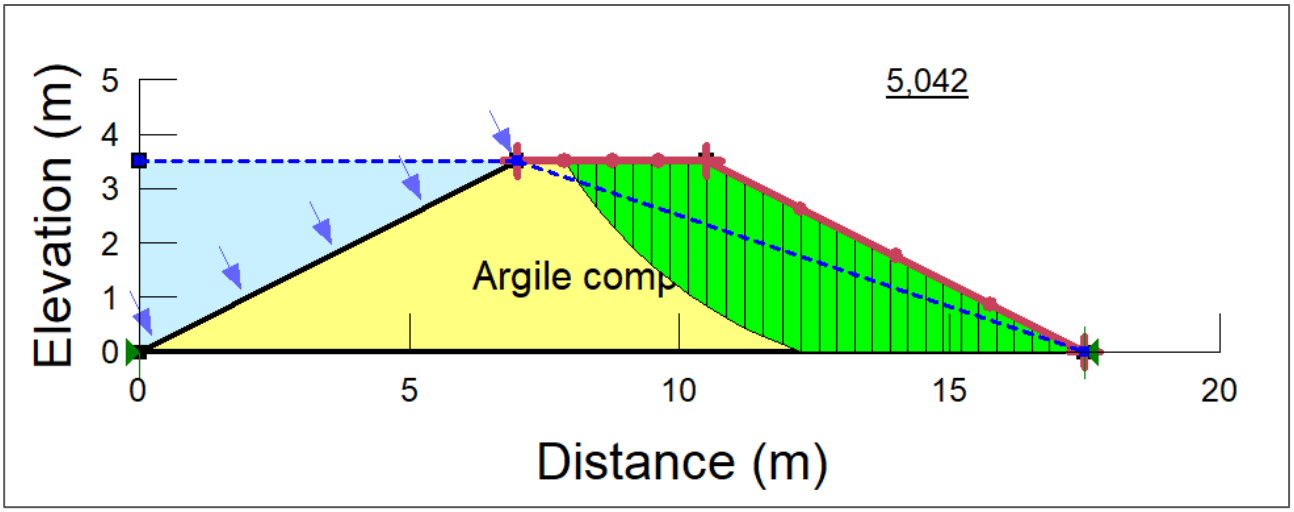


Figure 9:Modèle de l'étude de stabilité des pentes du déversoir (cote radier).

Le facteur de sécurité est de **5,042. Il est** supérieur au minimum proposé par la formule de Bishop (1,2). Le déversoir est stable

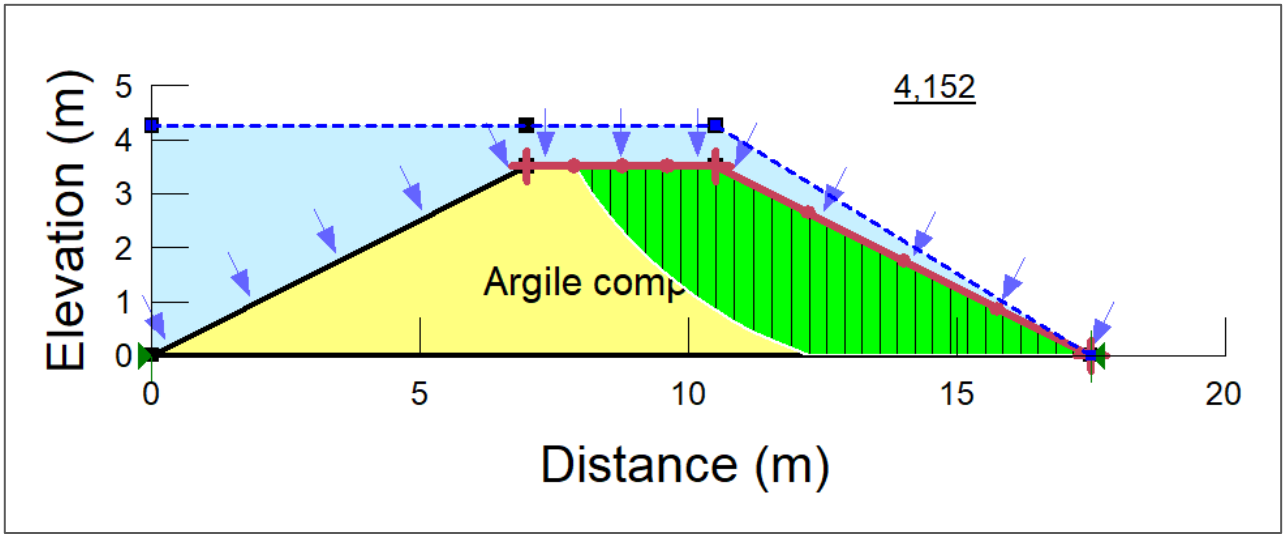


Figure 10: Modèle de l'étude de la stabilité des pentes du déversoir

Le radier devant être ancré dans la digue, nous avons retenu comme coefficient de LANE C=3. Le choix de ce coefficient se justifie par le fait que le remblai est constitué d'argile plastique et est en contact avec le radier qui est en béton armé. Pour obéir à cette règle, le radier est ancré à 50 cm et 40 cm respectivement en amont et en aval. L'objectif de cet ancrage est d'éviter le phénomène de renard. Bien que certains auteurs critiquent la règle de LANE et proposent même de l'abandonner, nous jugeons que dans notre cas, au regard de la position du contact les phénomènes de renard est maîtrisé.

Par ailleurs, notons que le radier est routier. Nous avons vérifié que ce massif en béton armé peut supporter une charge d'eau de 0,75 m et simultanément un camion de 30 tonnes. Pour pouvoir résister à cette charge, un ferraillage en double nappes dont chaque nappe est constituée de **7 HA 12** (armature principale) et **7 HA 10** (armature transversale) espacé de 15 cm est nécessaire. Ce ferraillage est pour chaque mètre.

Les détails sont répertoriés en note de calcul (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les v érifications de stabilité sont résumées dans le tableau ci-dessous :

V.6.3. Les diguettes de protection

Les diguettes de protection visent à protéger le bassin de dissipation et de drainer les eaux. Afin de drainer les eaux de déversement vers le talweg et empêcher l'érosion du pied de la digue deux diguettes de protection seront construites (une de chaque côté du déversoir), de 25 m de longueur chacune. Elles seront en matériaux argileux c'est à dire, le même ayant servi à construire la digue.

La largeur en crête sera de 3,00 m et les pentes de 2H/1V compte tenu de la faible hauteur des diguettes. La hauteur est donnée par celle du ressaut à la sortie du bassin de dissipation c'est-à-dire 2,72 m arrondis à 2,75 m. La crête sera protégée par une couche de couronnement latéritique de 0,20 m d'épaisseur.

Les talus seront protégés à l'amont par un perré maçonné sur couche de pose d'épaisseur 0,10 m et à l'aval par une couche de perré sec de 0,25 m d'épaisseur.

Les pieds des diguettes seront protégés par une butée et un drain triangulaire de 1,50 m de largeur en gueule et 0,50 m de profondeur et remplis d'enrochements granitiques ou latéritiques.

V.6.4. Le bassin de dissipation

Le bassin de dissipation sert à amortir l'énergie de chute et son action érosive. Nous trouvons un **bassin de type II**. Il a une longueur **de 4,00 m** et un tirant d'eau à la sortie de 1 m. Le détail de calcul

est donné en annexe dans la note de calculs. Des blocs de chute et blocs chicanes atténueront l'énergie de chute de l'eau.

V.6.5. Le chenal d'évacuation

La pente du terrain naturel dans cette zone est de l'ordre de **0,75%**. Il s'agit d'une pente érosive (pente > 0,2%) qui entrainera un affouillement du bassin de dissipation par érosion de l'aval vers l'amont si elle est maintenue. Afin d'éviter ce phénomène, nous adopterons une pente maximale de **0,2%.** Ainsi le lit mineur aval sera reprofilé. Le chenal aura une largeur de **100 m à la suite du bassin de dissipation**. Le chenal sera réalisé en déblai dans le lit mineur et les pentes de talus amont un fruit de **1/1. Sa profondeur sera de sorte à drainer les eaux avec une bonne pente pour les jeter dans le lit mineur**. La crue de projet est évacuée avec une hauteur d'eau de **0,60 m** et celle de sécurité avec une hauteur de **1,45 m** (

Annexe 11 : Dimensionnement du bassin de dissipation).

V.6.5. Ouvrage de prise et Vidange

L'ouvrage de prise sert à capter l'eau de la cuvette pour des utilisations en aval. Dans notre cas, il s'agira d'un ouvrage de prise pour irrigation d'un périmètre en aval.

L'ouvrage de vidange quant à lui a pour rôle principal de permettre une vidange totale ou partielle de la retenue en cas d'accident susceptible d'endommager gravement la digue et nécessitant de ce fait une intervention immédiate de crue. Du dimensionnement nous trouvons que la totalité du barrage peut se vider en **16 jours** à travers une conduite en fonte de **300 mm ;** alors qu'une conduite de 200 mm satisfait les besoins d'irrigation. Ainsi pour optimiser, et sachant que la prise est prédestinée à une exploitation en période sèche, nous allons combiner l'ouvrage de prise et celui de vidange.

L'ouvrage de prise est calé à la cote **301,00 m**. son bac amont est à cote **301,75 m**. permettant de sécuriser la prise vis à vis des dépôts des solides. Le diamètre de la conduite de prise est de **300** mm la conduite sera en fonte. Les extrémités de la conduite sont logées dans des bacs. Ces bacs sont construits en béton armée d'épaisseur 20 cm et armé en double nappe. La note de calcul est en annexe.

Côte au PEN	303,75m
Surface au PEN	46 ha
Côte de l'ouvrage de vidange et de prise	301,00 m
Côte bac amont	301,75 m
Charge d'eau (Prise)	2,75 m

V.7. Elaboration du dossier d'exécution

Le dossier d'exécution est le dossier final servant à la réalisation de l'étude. Il comporte une note méthodologique, le devis actualisé accompagné du métré, les plans des différents ouvrages ainsi que le planning d'exécution.

Lors de la contractualisation, l'entreprise avait fait des propositions de prix en fonction des quantités du marché. Après l'obtention, l'entreprise est invitée à fournir un dossier d'exécution. Elle procède à une levée contradictoire des données topographiques ainsi que les essais géotechniques. Nous nous appesantirons sur la mise en œuvre de la tranchée.

V.7.1 Note méthodologique de pour la construction du barrage de Doumbala

V.7.1.1 Tranchée d'ancrage

- **Option 1 : Réalisation d'un tapis argileux entre les profils 22 et 30**

Comme déjà mentionné dans le paragraphe sur la conception de la tranchée, le site du barrage de Doumbala se situe dans une zone sédimentaire. Le sol de fondation est constitué de sable et de limon. Rechercher un bon sol pour ancrer la fondation devient onéreux surtout quand on n'est pas à mesurer de situer la limite du mauvais sol. En plus de cela, il y a une nappe d'eau. Comment alors pouvoir bâtir une bonne fondation ? on a plusieurs options dont : (rabattement de la nappe par pompage suivi de la mise en œuvre du déblai/remblaide ; la réalisation d'une coupure étanche de la tranchée, la réalisation d'un tapis étanche…). Parmi ces options c'est le tapis étanche ou tapis argileux que nous propons. Cette option a déjà eu du succès ici au Burkina Faso. En effet, lors de l'exécution du barrage de Yakouta (à Dori, dans la région du Sahel), le sol d'assise n'était constitué que de sable. Ainsi, l'option tapis argileux a été explorée et exploitée. Cela a permis non seulement de rester moins profond mais aussi économiser car les travaux de déblais et de remblai engendrent des charges.

A Doumbala, il s'agit d'une situation presque similaire en ce sens que les sols sont sable-limoneux et limon sableux. C'est au niveau de l'infiltration qu'il a la différence. Le niveau piézométrique est à 4 m dans la zone du profil 20 au profil 28. En plus du fait de résoudre le problème du sol support, il faut aussi traiter le problème de l'infiltration. Car construire dans un milieu saturer avec les venues d'eau importante demande une grange mobilisation des engins. Ce qui, du point de vue économique n'avantage pas l'entreprise puisqu'elle n'a pas la possibilité de revoir son prix unitaire pour le remblai de la tranchée.

Ainsi, nous proposons de construire un tapis argileux, constitué de 2 couches successives de **25 cm** chacune entre le profil **20 et 28** soit une longueur de **155 m. Il s'étale sur une largeur égale à 10 fois la charge d'eau** à partir du pied amont soit 3,5x10 = 35 m de la digue. Le volume du remblai pour constituer le tapis argileux est de **155x35x0.5=2 721,5 m^3**. Le volume en remblai passerait de 5600 à 8321,5 m3. Cela occasionnerait une variation financière, on aurait 2721.5 x 3800 = 10 307 500 pour les déblais et 2712.5 x 5800 = **15 732 500** pour le remblai. Soit un total de **26 040 000F.**

- **Option 2 : ancrer la tranchée au bon sol d'assise**

Cette option consiste à fouiller jusqu'à rencontrer le bon sol. L'inconvénient à ce niveau réside sous deux angles : du point de vue économique et du point de vue hydrogéologique.

Sur le plan économique le volume des remblais passera de 5600 à 28 909 m^3 soit plus de 4 fois des travaux initiaux en termes de traitement de la tranchée. Et occasionnant une dépense supplémentaire de **194 968 537 F CFA.**

Sur le plan hydrogéologique, la tranchée constituerait un blocage pour les écoulements souterrains. En effet, l'argile est un matériau imperméable. Tandis que l'eau recherche les passages les plus aisés pour suivre son écoulement. La bloquer, revient à l'imposer à changer de chemin. Par où cette eau passera -t-elle ? Va-t-elle s'accumuler pour constituer un réservoir enterré ou va-t-elle contourner la tranchée ? Si cette tranchée présente une petite porosité à un endroit, cela pourra au fil du temps déstabiliser la fondation et par suite tout l'ouvrage. Pour éviter ces désagréments, mener une étude approfondie d'hydrogéologie serait une meilleure option avant de se lancer dans cette approche.

Image 6 : Illustration de l'exécution de la tranchée.

Dans tous les cas l'exécution de la tranchée est faite en à l'aide des engins de terrassement (Bull, Pelle hydrauliques, et compacteur pied de mouton (815) et de motopompe). L'ouverture de la tranchée se fera sur chaque 40 m progressivement. Etant donnée que les venues d'eau sont importantes, on disposera d'une motopompe de 150 m3/h pour vider l'eau de la fosse. Chaque partie ouverte jusqu'au sol d'assise sera remblayé à l'argile et compacté à l'OPN (100%) avant d'ouvrir le prochain profil. Ainsi de suite on construira la tranchée d'ancrage du barrage. Le sous compactage entraine une augmentation des vides tant dis que le sur compactage engendre des surfaces lisses de glacier et crée ainsi des passages privilégiés de l'eau (Adjuma THOMBIANO, Compactage du remblai de barrage, septembre 2019).

V.7.1.2 Corps de la digue et ouvrage de prise

La digue est mise en place à travers la pose de couche successives de 25 cm de l'argile compacté à 100% à l'OPN. A la côte 301, 25 (cote de la prise) on réalise une fouille de 70 cm x 80 cm en vue d'enrober la conduite de la prise en béton ordinaire. Un drain horizontal d'épaisseur 20 cm est mis

du coté aval de l'axe de la digue sur une largeur de 7 m afin de drainer les eaux sous pression et celle traversant le corps de la digue.

A la cote 303,75, cote crête du déversoir, on exécute une tranchée le long de la digue pour la mise en place du drain vertical. En effet selon l'expérience décrite par les auteurs Jean-Maurice DURAND et collaborateur [17], le drain horizontal présente des inconvénients. Il est peu efficace en cas d'anisotropie de perméabilité dans le remblai. Ce qui peut conduire à des désordre graves car selon DURAND, il est fréquent de rencontrer des coefficients d'anisotropie de 10 voire 100 dus à la mise en œuvre du remblai par couche horizontale successive. Cela a retenu notre attention.

V.7.2 Devis quantitatif

Tableau 20: Devis quantitatif

Désignation	Unités	Quantité tapis argileux	Sol d'assise
TRANCHEE D'ANCRAGE			
Déblai tranchée	m^3	7 547,42	28 909,22
Remblai tranchée	m^3	7 547,42	28 909,22
DIGUE			
Débrouillage-décapage emprise sur linéaire total	m2	14 634,83	14 634,83
Déblai aux engins drain aval et butée amont	m^3	652,08	652,08
Déblai à la main pour parapet et crête amont	m^3	434,72	434,72
remblai argileux compacté	m^3	28 490,37	28 490,37
couche de couronnement latéritique pour crête (ép 20cm)	m^3	869,44	869,44
couche de pose sur talus amont et aval	m^3	894,45	894,45
filtre de sable	m^3	1 071,45	1 071,45
perré sec sur les talus amont et aval	m^3	8 944,47	8 944,47
Enrochement rangé à la main pour butée et drain	m^3	652,08	652,08
Maçonnerie de moellon pour parapet et mur de crête	m^3	652,08	652,08
DEVERSOIR	m^3	290	290
BASSIN DE DISSIPATION	m^3	160	160

Désignation	Unités	Quantité tapis argileux	Sol d'assise
OUVRAGE DE PRISE	m^3	7	7

Du fait de l'augmentation de la tranchée, il y une grande variation du volume des remblai et déblai. Le métré est joint en annexe.

V.8 Notice d'impact environnemental et social

Dans l'approche méthodologique, nous avons souligné qu'il ne s'agit pas d'une notice d'impact environnementale et sociale mais plus tôt d'une analyse synthétique de l'importance de la réalisation du barrage.

Ainsi pour bien mener l'analyse nous nous sommes servis de la grille d'évaluation de FECTEAU afin d'apprécier leur importance de l'impact du projet. Cette analyse est assortie d'un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) dont la mise en œuvre permettra d'atténuer les impacts négatifs et optimiser les impacts positifs du projet.

Tableau 21: Synthèse de l'impact de l'a réalisation du barrage de Doumbala

Activités sources d'impact	Milieu affecté	Impacts identifies	Evaluation de l'importance des impacts				
			Catégorie d'impact	Intensité	Etendue (portée géographique)	Durée	Importance
PHASE D'INSTALLATION ET DES TRAVAUX							
Installation du chantier Dégagement des emprises et exécution des ouvrages	**Milieu biophysique**						
	Sols	Accélération de l'érosion et risques de contaminations par les produits chimiques	Négatif	Faible	Ponctuelle	Courte	Mineure
	Air et climat sonore	Pollutions atmosphérique et nuisances sonores	Négatif	Moyenne	Locale	Moyenne	Mineure
	Eaux de surface et eaux souterraines	Contaminations des eaux par les polluants	Négatif	Faible	locale	Moyenne	Mineure
	Végétation	Destruction de la végétation de jachère	Négatif	Faible	Ponctuelle	Courte	Mineure
	Faune	Destruction des habitats de la faune	Négatif	Faible	Locale	Moyenne	Mineure
	Milieu humain						
	Cadre de vie	Production de déchets constitués de gravats et de débris végétaux	Négatif	Forte	Ponctuelle	Courte	Majeure
	Bruits	Nuisances sonores liées aux engins produisant grands bruits	Négatif	Moyenne	Ponctuelle	Moyenne	Moyenne
	Santé, Sécurité de la population riveraine des ouvriers	Nuisances diverses et maladies respiratoires dues aux gaz d'échappement et à la poussière.	Négatif	Faible	locale	Courte	Mineure
	Activités agropastorales	Pertes de superficies cultivables et de pâturages pour les animaux	Négatif	Moyenne	Locale	Moyenne	Majeure
	Emploi et commerce	Création d'emploi et développement des activités commerciales avec l'installation de l'entreprise	Positif	Moyenne	Locale	Courte	Moyenne
	Patrimoine archéologique	Risques probables de destruction de patrimoine culturels et archéologique	Négatif	Faible	ponctuelle	Longue	Mineure
PHASE D'EXPLOTATION							
Mise en exploitation du barrage	**Milieu biophysique**						
	Sols	Modification de la dynamique physico-chimique des sols	Négatif	Faible	Locale	Longue	Moyenne
	Eaux de surface et eaux souterraines	Disponibilité d'une grande quantité d'eau pour les besoins humains et animaux recharge de la nappe phréatique	Positif	Forte	Locale	longue	Majeure

Activités sources d'impact	Milieu affecté	Impacts identifies	Evaluation de l'importance des impacts				
			Catégorie d'impact	Intensité	Etendue (portée géographique)	Durée	Importance
Mise en exploitation du barrage	Végétation	Mort de la végétation naturelles et des plantations ne supportant pas l'immersion prolongée.	Négatif	Faible	Locale	Longue	Moyenne
	Faune	Recolonisation du site par la faune aquatique (batraciens, insectes, crocodiles etc). Disponibilité de l'eau pour les animaux sauvages	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
	Milieu humain						
	Santé, sécurité des populations riveraines	Effet dommageable sur la santé de la population, développement des insectes vecteurs de maladies (paludisme, bilharziose etc et risques de noyades.	Négatif	Faible	Locale	Longue	Moyenne
	Activités agropastorales	Développement et intensification des activités agropastorales avec la présence prolongée de l'eau	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
	Emploi et commerce	Apparition d'ouvriers temporaires pour les activités de maraichages et développement des transactions commerciales sur les produits de la pêche et de la maraichéculture	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
	Pêche	Développement de la pêche avec la présence de la retenue	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
	Conditions de vie des femmes rurales et les groupes vulnérables	Amélioration des conditions des femmes avec les activités génératrices de revenus qu'elles pourront menées.	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
	Artisanat	Développement des activités artisanales	Positif	Faible	Locale	Longue	Moyenne
	Patrimoine archéologique	Risques probables de destruction de patrimoine culturels et archéologique	Négatif	Faible	Locale	Longue	Moyenne

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La construction du barrage de Doumbala s'inscrit dans la vision politique qui est d'assurer la sécurité alimentaire. Les conditions hydrologiques et climatiques sont favorables et la topographie du terrain présente aussi des possibilités de rétention des eaux ruisselées. Cette eau retenue permettra l'aménagement d'au moins 10 ha d'oignons ou voir 20 à 30 ha s'il s'agit des cultures moins consommatrices d'eau et ayant des cycles court. Le barrage sera un grand atout pour toute la commune qui ne possède encore aucun ouvrage d'eau et constituera un point d'abreuvage d'au moins 17 000 bovins.

Les sondages géotechniques ont permis d'identifier des zones d'emprunt argileux, sableux et latéritiques sont identifiés indispensables pour l'exécution d'un barrage en terre homogène. Cependant, les sondages géotechniques réalisés sur l'axe de la digue montrent la présence de mauvais sols (sableux) impropres à la l'ancrage de la digue. Deux techniques de réalisation de la fondation ont été proposées afin de réaliser de bien réaliser la tranchée du barrage.

Pour ce présent projet, nous recommandons qu'une étude hydrogéologique soit menée afin de caractériser les écoulements souterrains. Déjà que les **venues d'eau** sont moins profondes et il serait nécessaire d'une part de connaitre l'impact de la réalisation de la tranchée sur ces écoulements et d'autre part l'effet de ces écoulements sur la fondation. Dans tous les cas, la réalisation de ce projet va non seulement nécessiter un grand investissement.

Afin de garantir ces investissements, nous recommandons qu'il soit mis en place un comité d'exploitants pour assurer principalement le suivi et l'entretien courant du barrage y compris le périmètre qui pourrait être aménagé en aval ; le renforcement des capacités des exploitants aux bonne pratiques agricole pour éviter l'envasement du lit du barrage mais aussi la pollution de l'eau.

Pour des projets futurs, nous proposons que des études géotechniques et hydrogéologiques soient bien réalisées surtout au niveau de l'axe de la digue. Cela permettra de bien choisir l'axe de la digue et permettra au maitre d'ouvrage de bien caler le budget de son projet. Les études hydrogéologiques (prospections géophysiques…) apparaissent impératives et ne sont donc pas à négliger même quand il s'agit des petits barrages.

BIBLIOGRAPHIE

[1] M. OUEDRAOGO, « Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso », p. 20, mars 2012.
[2] B. KOUANDA, « Modélisation Intégrée du Complexe Mouhoun supérieur-Sourou dans le contexte des changements climatiques ». 2019.
[3] Groupement de bureau d'étude CETRI-BERA, « ETUDE DE REALISATION DU BARRAGE DE DOUMBALA: RAPPORT D'AVANT PROJET DETAILLE », Memoire technique, déc. 2017.
[4] S. GUINKO, « CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA VÉGÉTATION ET DE LA FLORE DU BURKINA FASO (ex Haute-Volta) Origine botanique de quelques outils et objets artisanaux en bois ».
[5] COWI, « Rapport d'Etat des lieux des ressources en eau de l'espace de compétence de l'Agence de l'eau du Mouhoun (Version Définitive) ». COWI, déc. 2012.
[6] M. LO, « Cour de barrage ». .
[7] FAO, « 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 ». 1996.
[8] M. L. COMPAORE, « Cours de barrage; 2IE ». 2ème édition, 1996.
[9] G. DEGOUTTE, « Pétits barrages recommandations pour la conception, la réaliastion et le suivi ». CEMAGREF; ENGREF.
[10] FAO, « Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche », p. 265.
[11] H. KARAMBIRI, « Etude de l'envasement des barrages au Burkina Faso: Etude de cas », Ouagadougou, Burkina Faso, Memoire de Fin d'étude, 1998.
[12] A. NOMBRE, « Première conférence annuelle sur les barrages "Dimensionnement et gestion des reservoirs" », Ouagadougou, Burkina Faso, Rapport introductif, déc. 2019.
[13] B. F. MEA, « Résultat de l'inventaire National des Ouvrages 'Approvisionnement en Eau potable », Ouagadougou, Burkina Faso, Compilation de données, mars 2020.
[14] Drecret, *Drecret n°2019-204/PRES/PM/MEA/MINIFED/MATDC/MS pourtant definition des normes, critère et indicateurs d'accès*. 2019, p. 11.
[15] Labo Becoha sarl, « Rapport Géotechnique des songage de reconnaissance et les résultats d'essais du barrage de Doumbala », Ouagadougou, Burkina Faso, Rapport Technique, avr. 2019.
[16] « Petit barrage pour l'équipement rural en A frique ». .
[17] J.-M. DURAND, P. ROYET, et P. MERIAUX, « Technique des petits barrages en Afrique Sahélienne et Equatoriale ». CEMAGREF; EIER, 1999.

ANNEXES

Annexe 1 : Organigramme de ERI 61

Annexe 2 : Présentation de la zone d'étude (Sol de Dombala) 62

Annexe 3 Etude Pluviométrique 67

Annexe 4 : caractérisation du bassin versant 70

Annexe 5 : Etude hydrologique 73

Annexe 6 : Prédétermination des crues 75

Annexe 7 : Etude de la retenue 81

Annexe 8 : Conception et dimensionnement du barrage 83

Annexe 9: dimensionnement hydraulique du déversoir 87

Annexe 10 : dimensionnement de l'évacuateur de crus 88

Annexe 11 : Dimensionnement du bassin de dissipation 92

Annexe 12 : Etude d'impact environnemental et social 96

Annexe 13 : Devis suivant le plan d'exécution 102

Annexe 14: Métré 106

Annexe 1 : Organigramme de ERI

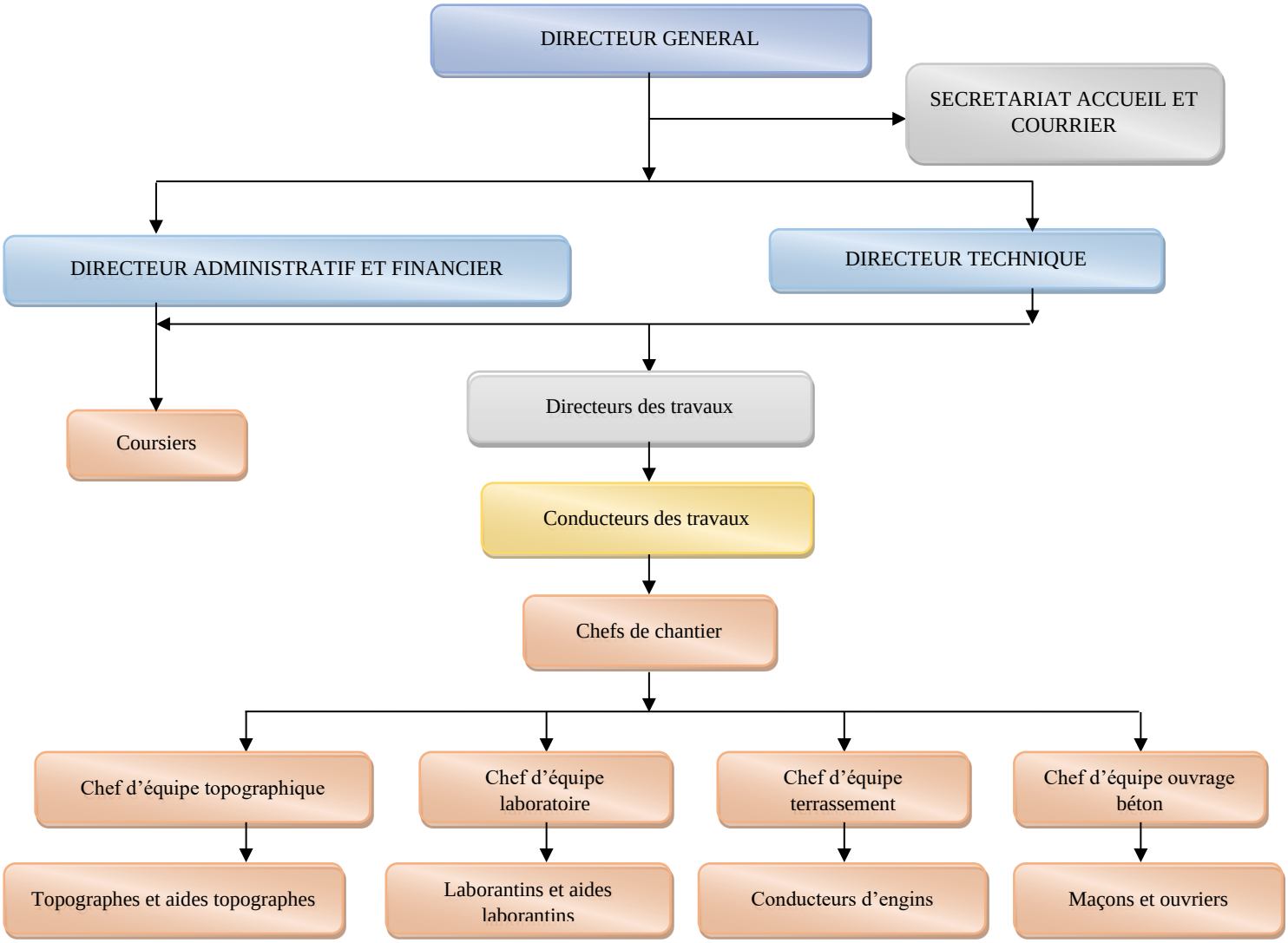


Image 7: Organigramme de la société ERI

Annexe 2 : Présentation de la zone d'étude (Sol de Dombala)

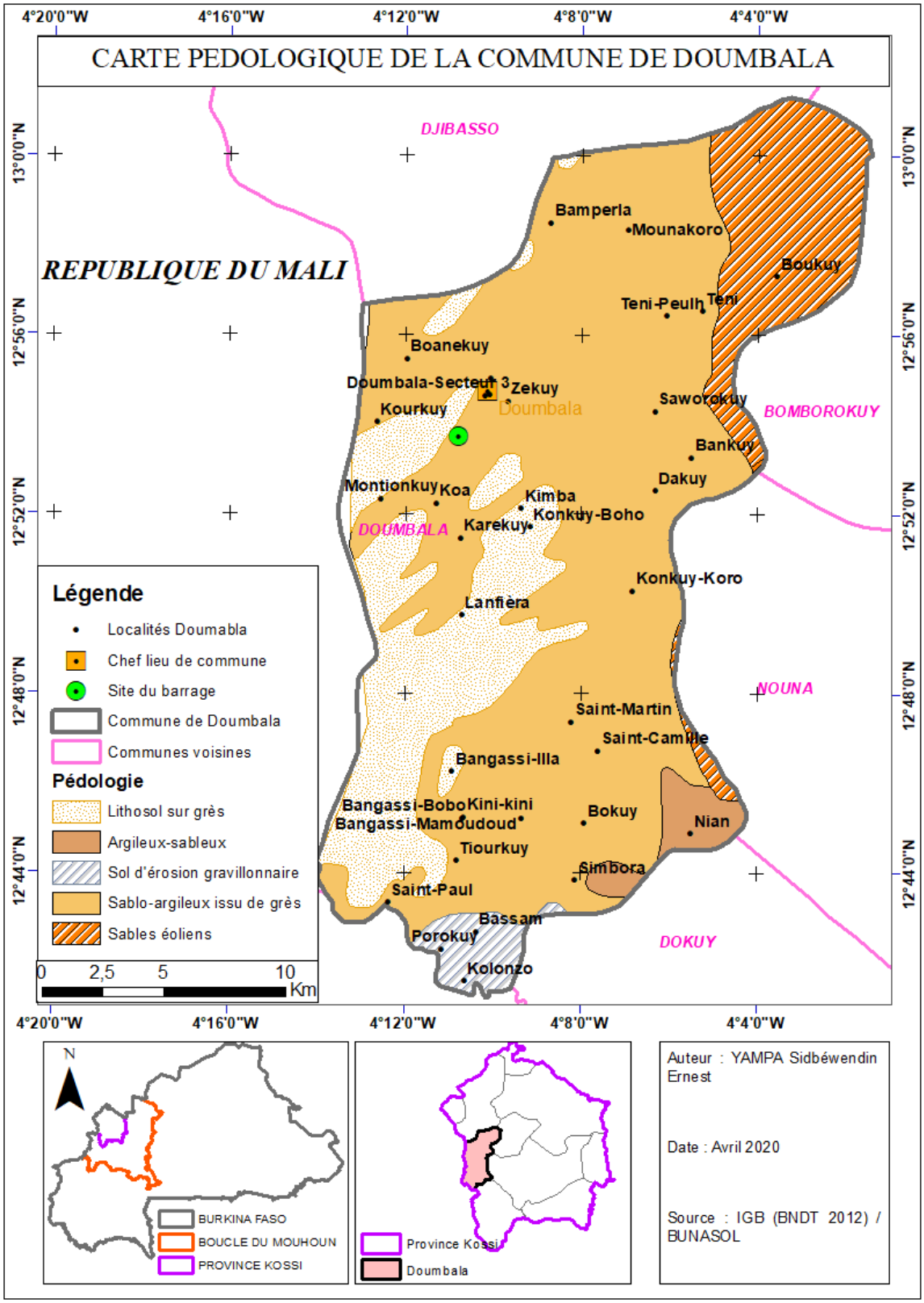


Image 8: carte de sol de la commune de Doumbala

Hydrographie de la commune de Doumbala

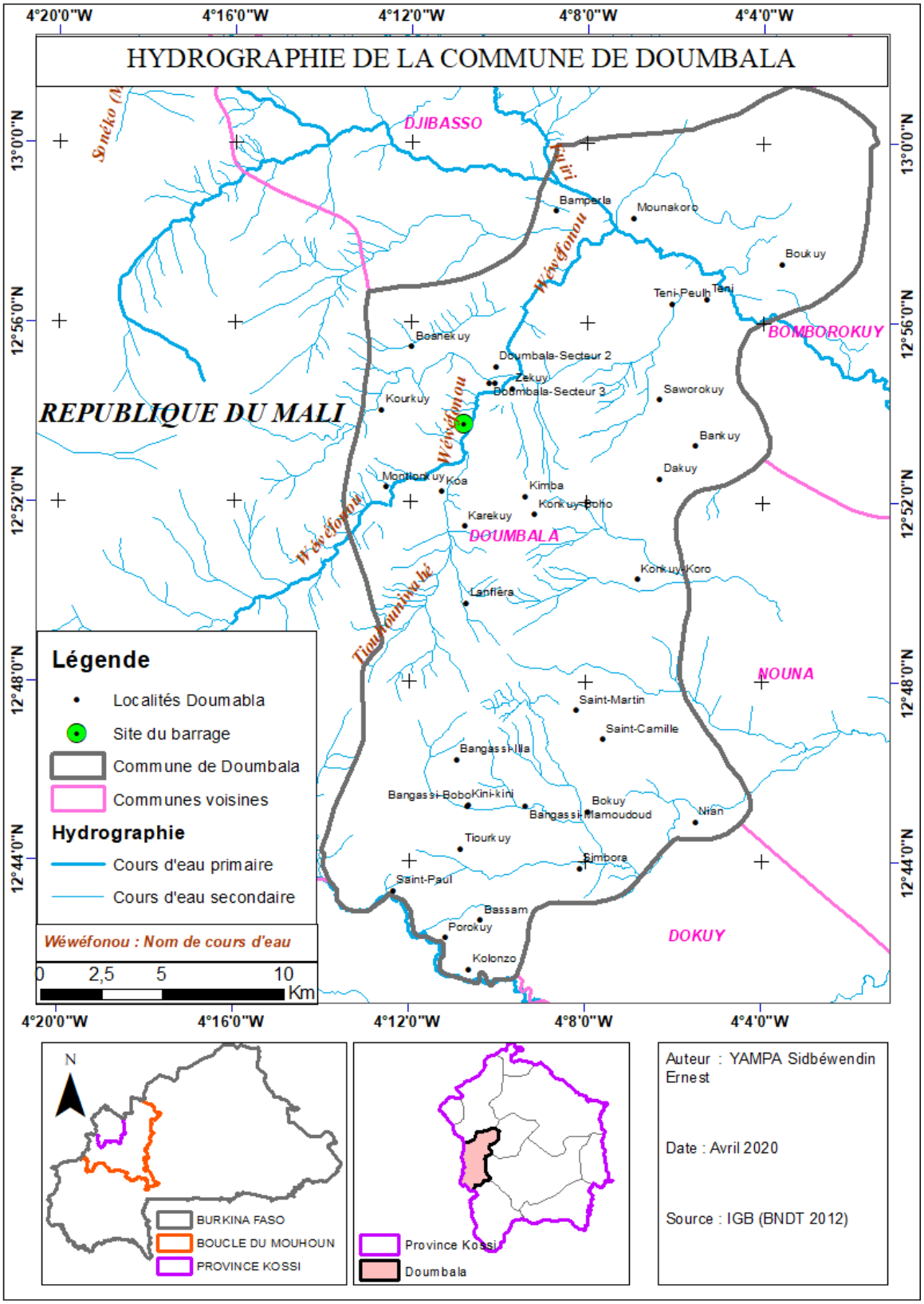


Image 9: Carte de l'hydrographie de la commune de Doumbala

Végétation de la commune de Doumbala

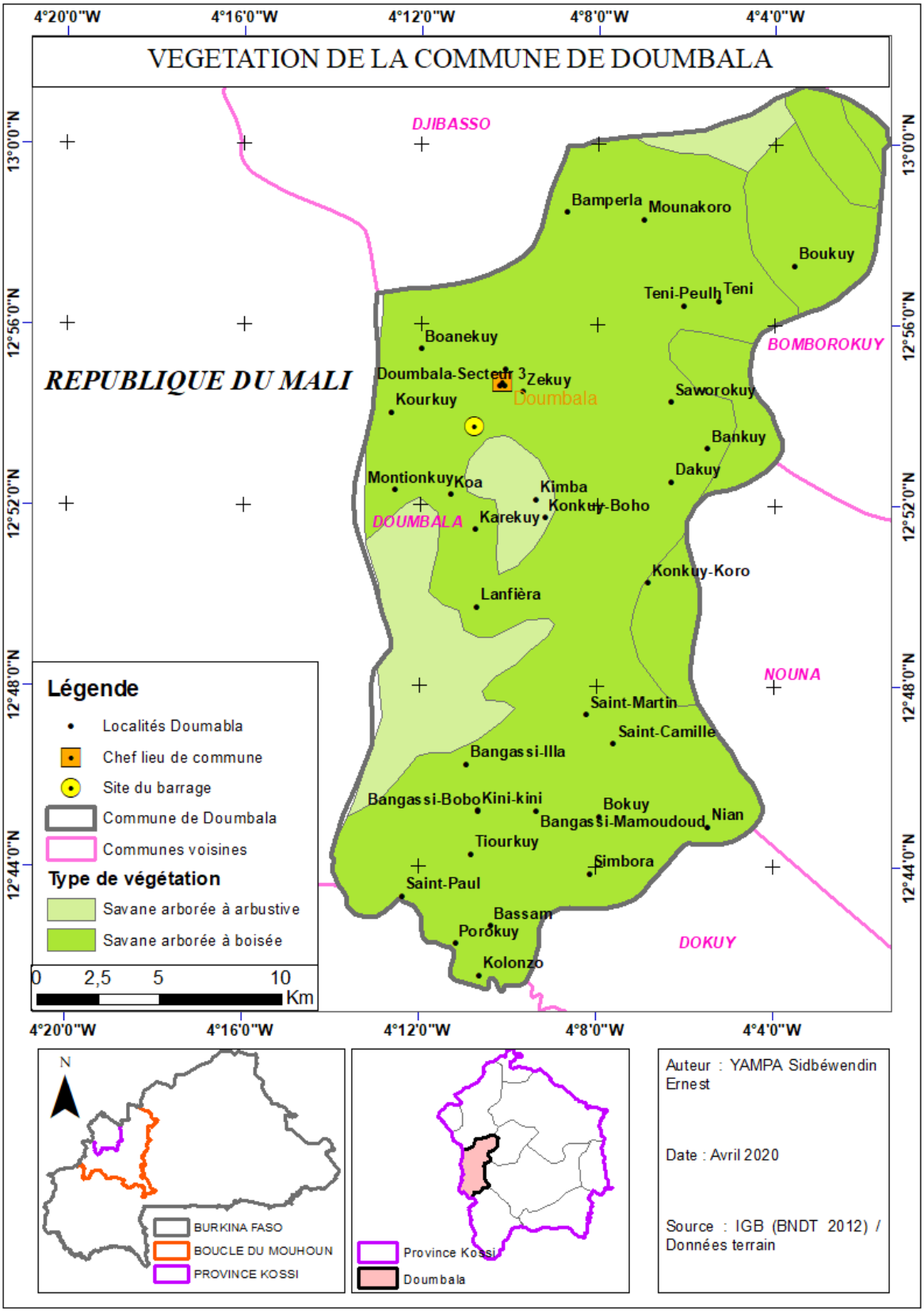


Image 10: Végétation de la commune de Doumbala

Géomorphologie de la commune

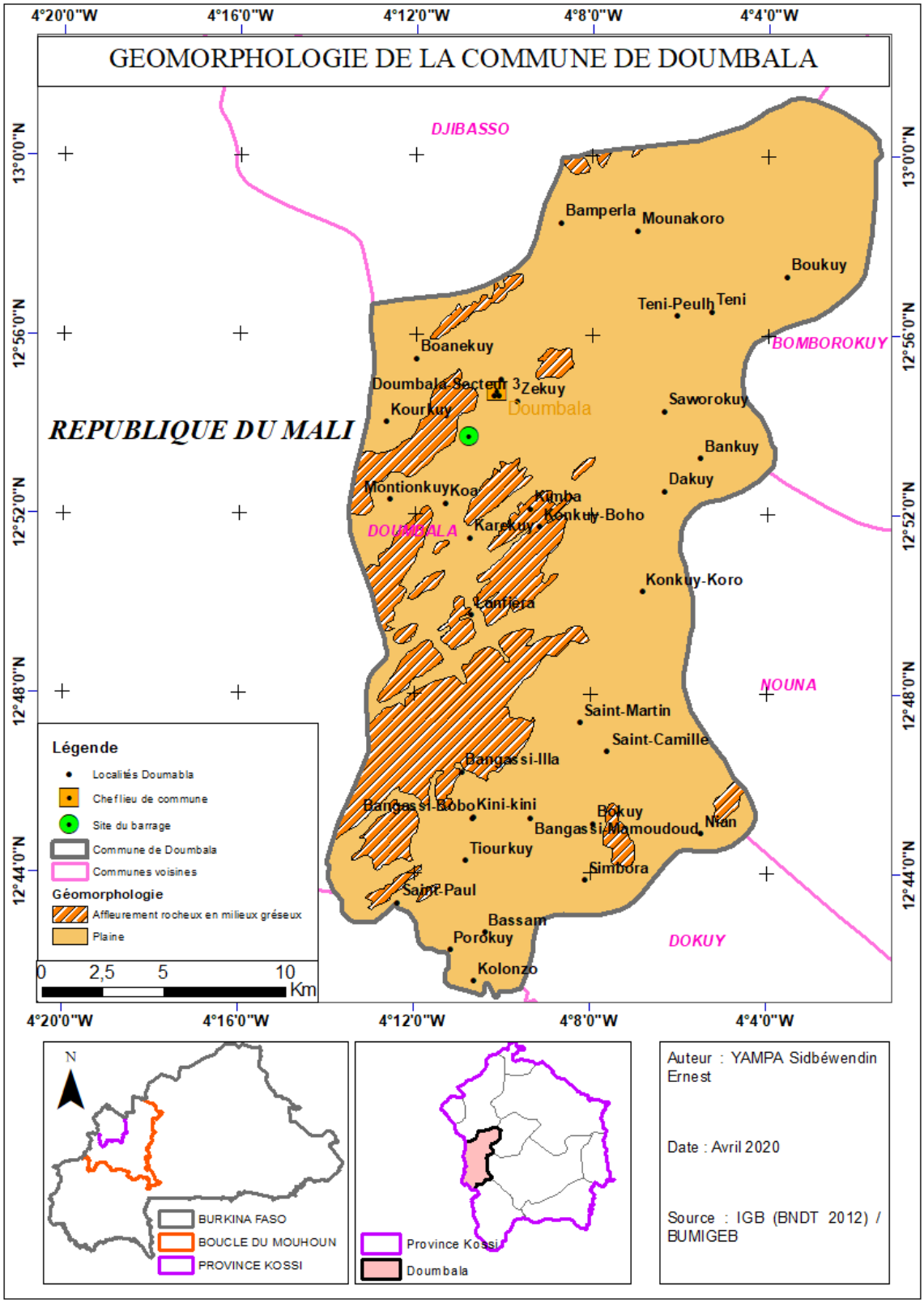
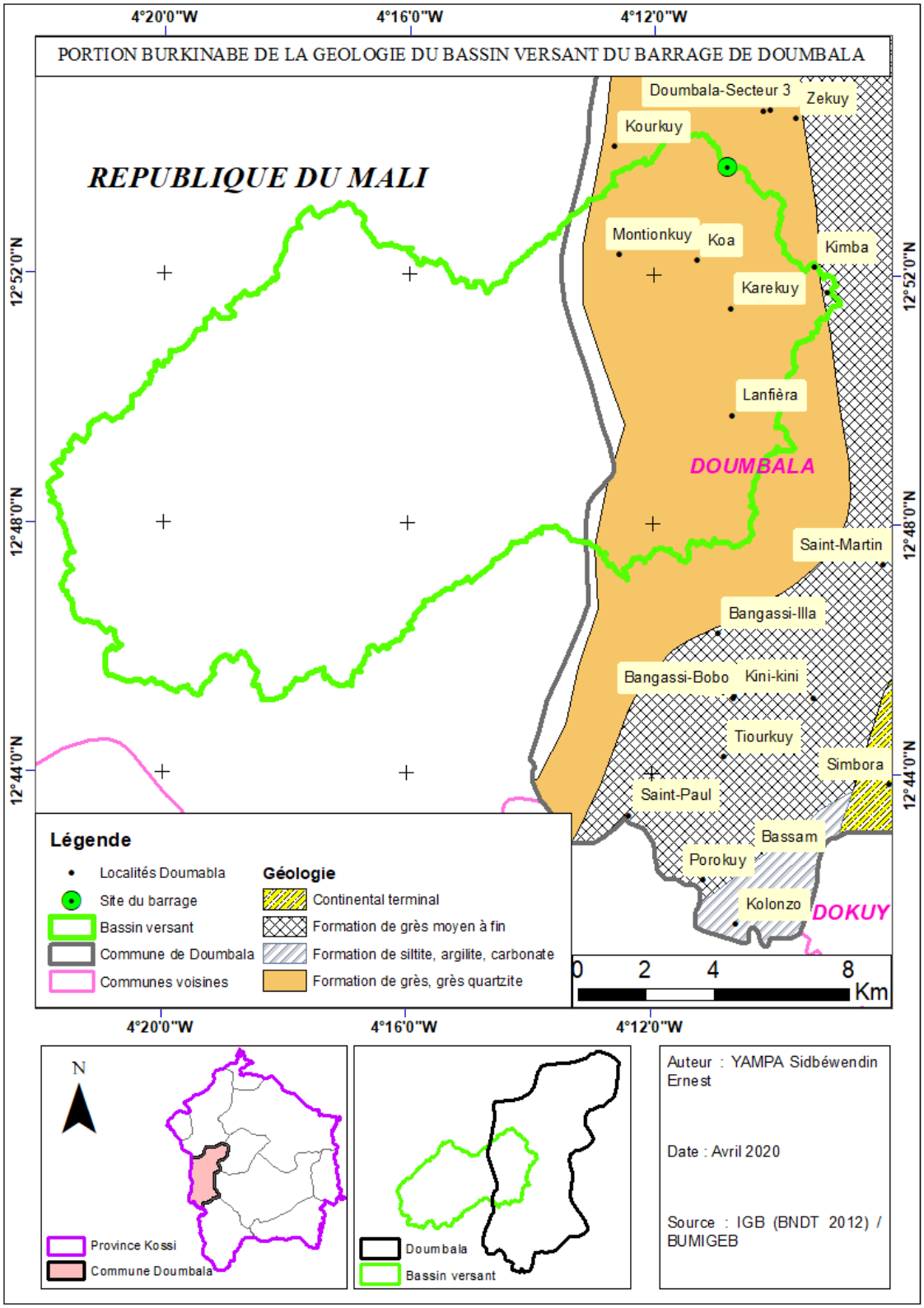


Image 11: Géomorphologie de la commune de Doumbala

Géologie de la commune de Doumbala



Annexe 3 Etude Pluviométrique

1. Données pluviométriques

Tableau 22:Données pluviométrie de la station de Nouna

Année	Pluie annuelle (mm)	Pluie maximale journalière (mm)		Année	Pluie annuelle (mm)	Pluie maximale journalière (mm)
1986	914,50	81,00		**2002**	594,20	116,90
1987	601,70	50,00		**2003**	854,30	91,10
1988	815,60	82,60		**2004**	573,20	82,00
1989	888,01	69,00		**2005**	584,10	58,00
1990	589,45	44,50		**2006**	707,40	67,90
1991	721,60	46,00		**2007**	790,10	73,00
1992	533,71	33,30		**2008**	716,70	51,20
1993	627,31	46,00		**2009**	862,10	62,00
1994	857,19	78,10		**2010**	780,80	84,00
1995	642,86	44,55		**2011**	779,00	68,80
1996	663,79	67,50		**2012**	1054,60	99,00
1997	530,20	33,50		**2013**	808,10	84,90
1998	716,70	52,40		**2014**	944,30	67,30
1999	678,20	40,00		**2015**	852,20	67,00
2000	526,60	66,60		**2016**	782,10	102,70
2001	777,60	50,00		**Moyenne**	**734,46**	**66,48**

Paramètre	Moyenne (mm)	Médiane (mm)	Écart type	Coefficient de variation
Valeur	**734,5**	**721,60**	**135**	**18**

2. Ajustement de suivant la loi Normale

Tableau 23: Ajustement de suivant la loi Normale

STATION DE NOUNA				
Année	***Pluie annuelle***	**Rang**	**Fréquences de hazen**	**Variable réduite (u)** $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$
2000	526,60	1	0,0135	-1,5391
1997	530,20	2	0,0405	-1,5124
1992	533,71	3	0,0676	-1,4864
2004	573,20	4	0,0946	-1,1940
2005	584,10	5	0,1216	-1,1133
1990	589,45	6	0,1486	-1,0737
2002	594,20	7	0,1757	-1,0385
1987	601,70	8	0,2027	-0,9830
1993	627,31	9	0,2297	-0,7934
1995	642,86	10	0,2568	-0,6783
1996	663,79	11	0,2838	-0,5232
1999	678,20	12	0,3108	-0,4166
2006	707,40	13	0,3378	-0,2004
1998	716,70	14	0,3649	-0,1315
2008	716,70	15	0,3919	-0,1315
1991	721,60	16	0,4189	-0,0952
2001	777,60	17	0,4459	0,3194
2011	779,00	18	0,4730	0,3298
2010	780,80	19	0,5000	0,3431
2016	782,10	20	0,5270	0,3528
2007	790,10	21	0,5541	0,4120
2013	808,10	22	0,5811	0,5453
1988	815,60	23	0,6081	0,6008
2015	852,20	24	0,6351	0,8718
2003	854,30	25	0,6622	0,8874
1994	857,19	26	0,6892	0,9087
2009	862,10	27	0,7162	0,9451

STATION DE NOUNA				
Année	***Pluie annuelle***	**Rang**	**Fréquences de hazen**	**Variable réduite (u)** $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$
1989	888,01	28	0,7432	1,1370
1986	914,50	29	0,7703	1,3331
2014	944,30	30	0,7973	1,5538
2012	1054,60	31	0,8243	2,3705

3. Ajustement de suivant la loi Gumbel

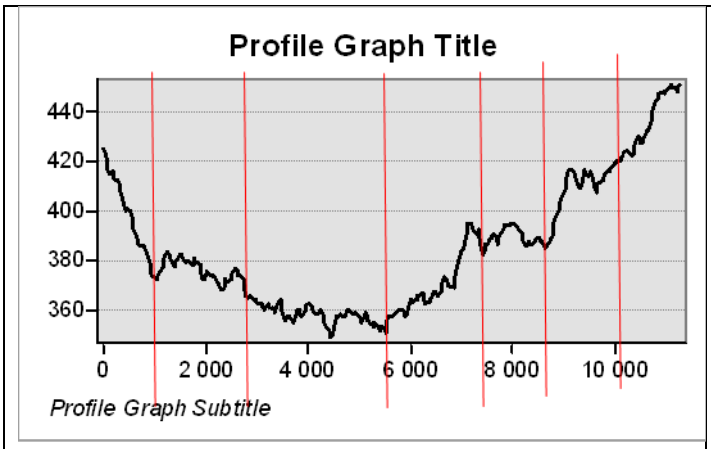
Tableau 24:

Campagne	**T**	**fd (1/t)**	**Up Up= (-Ln-(Ln(fd)**	**K K= 0,78*(Up-0,577)**	**xp**	**erreur**	**borne inférieure**	**Borne supérieure**
sèche	100	0,01	-1,5272	-1,6413	33	6	27	38
	20	0,05	-1,0972	-1,3059	39	5	35	44
	10	0,1	-0,8340	-1,1006	44	4	40	48
	5	0,2	-0,4759	-0,8213	49	3	46	53
humide	5	0,8	1,4999	0,71989	81	7	74	89
	10	0,9	2,2504	1,30523	93,5	10	84	103
	20	0,95	2,9702	1,86669	105,1	12	93	117
	100	0,99	4,6001	3,13806	131,4	18	113	149

Annexe 4 : caractérisation du bassin versant

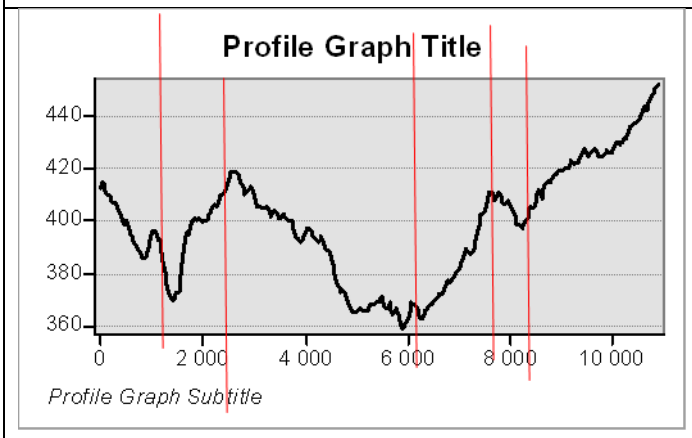
Désignation	Formules	Valeurs
Superficie du bassin versant (Km²)	SIG	222,70
Périmètre du bassin versant (Km)	SIG	87,90
Longueur totale du réseau hydrographique (Km)	SIG	565,07
Longueur du plus long cours d'eau (Km)	SIG	26,28
Indice de compacité de Graveluis KG	$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}}$	1,66
Longueur du rectangle équivalent (m)	$L_{eq} = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4}$	38,10
Densité de drainage (Km/Km²)	$D_d = \frac{\sum L_t}{S}$	2,54
Indice global de pente Ig (m/Km)	$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_{eq}}$	3,19
20 % de l'Indice global de pente	0.2*Ig	0,64
Pente transversale IT1 (m/Km)	SIG	17,07
Pente transversale IT2 (m/Km)	SIG	12,22
Pente transversale IT3 (m/Km)	SIG	14,58
Pente transversale IT4 (m/Km)	SIG	11,50
Pente transversale IT5 (m/Km)	SIG	17,25
Pente tranversale IT6 (m/Km)	SIG	14,65
Moyenne des pentes tranversales IT (m/Km)		14,54
Indice global de pente corrigé Igcorr (m/Km)	$I_{gcorr} = \frac{(n-1)I_g + I_t}{n}$	6,028
Dénivelée spécifique (m)	$D_s = I_g \times S^{0,5}$	47,58
Pente longitudinale moyenne (‰)		6,20

Détermination des pentes transversale



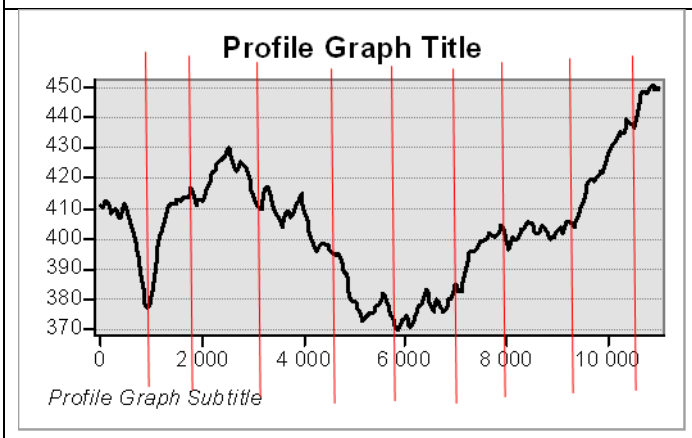
Rive gauce			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente
410	370	6	6,67

Rive droite			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente
450	370	4,5	17,78



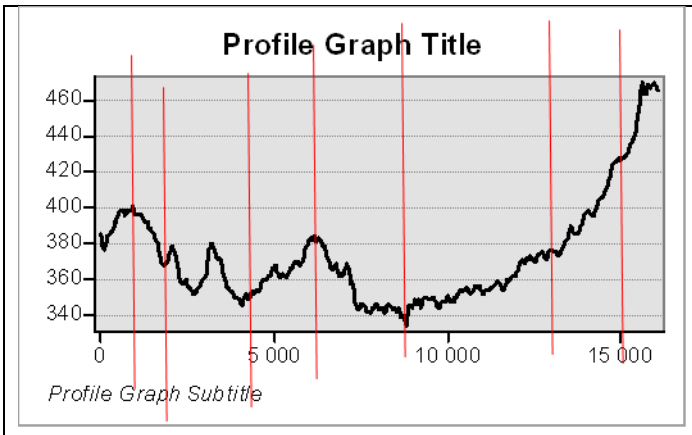
Rive gauce			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente
415	360	6	9,17

Rive droite			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente
450	360	4,5	20,00



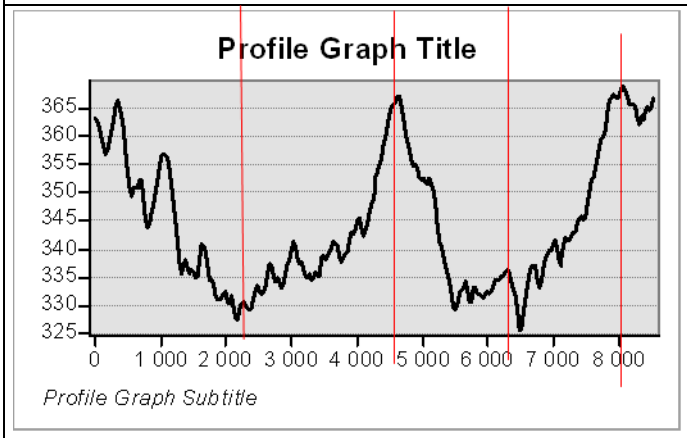
Rive gauce			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente
425	349	5	16,43

Rive droite			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente
451	349	5,75	17,71



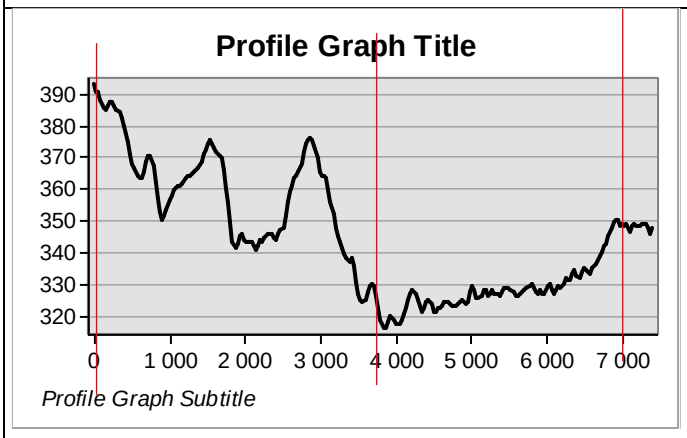
Rive gauce			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente
390	340	9	5,66

Rive droite			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente
465	340	7,21	17,34



Rive gauce			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente

Rive droite			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente



Rive gauce			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente

Rive droite			
Zmax	Zmin	DISTANCE (m)	Pente

Annexe 5 : Etude hydrologique

Paramètre	Formules	Opération	Valeurs
Superficie du bassin versant (km2)	SIG		222,70
	classe 3: **bassin versant moyen** car superficie compris entre 40-1000km2 selon RODIER		
Périmètre du bassin versant (km)	SIG		87,90
Longueur totale du réseau hydrographique (km)	SIG		565,07
Longueur du plus long cours d'eau (km)	SIG		26,28
Indice de compacité de Graveluis K_G	$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}}$	$K_G = \frac{87,90}{2\sqrt{\pi 222,70}} = 1.66$	
	Ce indice de permet de caracttériser la forme du bassin : pour un KG ou supérieur à 1, on dira que le **bassin versant allongé**		
Longueur du rectangle équivalent	$L_{eq} = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4}$	$L_{eq} = \frac{87,9+\sqrt{87,9^2-16*222,70}}{4}$**=38,10**	
Densité de drainage	$D_d = \frac{\sum L_t}{S}$	$D_d = \frac{565,07}{222,7} = 2,54$	
Indice global de pente Ig	$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_{eq}}$	$I_g = \frac{445,5 - 324}{38,1} = \mathbf{3,19}$	
20 % de l'Indice global de pente	20 %*Ig	0,64	
	On calculera la pente transversale moyenne et la comparé à plus ou moins 20% de la l'Indice de globale de pente. Si la valeur est dans l'intervalle il n'y aura pas de correction. Dans le cas contraire l'Ig sera corrigé.		
Pente transversale IT1 (m/Km)	$\frac{Denivelée}{Distance}$		17,07
Pente transversale IT2 ()	$\frac{Denivelée}{Distance}$		12,22
Pente transversale IT3 (m/Km)	$\frac{Denivelée}{Distance}$		14,58

Paramètre	Formules	Opération	Valeurs
Pente tranversale IT4 (m/Km)	$\frac{Denivelée}{Distance}$		11,50
Pente tranversale IT5 (m/Km)	$\frac{Denivelée}{Distance}$		17,25
Pente tranversale IT6 (m/Km)	$\frac{Denivelée}{Distance}$		14,65
Moyenne des pentes tranversales IT (m/Km)			**14,54**
	La correction de l'Ig s'impose car It n'est pas dans l'intervalle		
Indice global de pente corrigé Igcorr (m/Km)	$I_{gco} = \frac{(n-1)I_g + I_t}{n}$	$I_{gco} = \frac{(4-1) * 3{,}19 + 14{,}65_t}{4} = 6{,}03$	
Dénivelée spécifique (m)	$D_s = I_g \times S^{0,5}$	$D_s = 6{,}03 \times 222{,}7^{0,5}$=90	
	La Ds permet de déterminer le type de relief du bassin versant. Pour Ds=90, comprise entre 50-100, on a un bassin versant ayant un relief modéré.		
Altitude maximale	SIG	475	
Altitude minimale	SIG	312	
Pente longitudinale moyenne (‰)	$I_g = \frac{Z_{max} - Z_{min}}{L_{cours\ d'eau\ princp}}$	$I_g = \frac{475 - 312}{26.28}$	6,20
Classe de relief	Ce paramètre caractérise la classe du bassin versant : R3: Bassins de pentes modérées comprises entre 5 et 10 m/km (5‰ et 1%). Ce sont des terrains intermédiaires entre la plaine et les zones à ondulation de terrain		
Type de relief	DS comprise entre 50-100, bassin versant ayant un relief modéré		
Typologie du réseau Hydrographique	Dendritique		
Classe du bassin versant	classe 3: bassin versant moyen car superficie compris entre 40-1000km2 selon RODIER		

Annexe 6 : Prédétermination des crues

Prédétermination de la crue de projet

Détermination du coefficient d'abattement A

$$A = 1 - \left[\frac{161 - 0{,}042 \times \overline{P_{an}}}{1000} \times LogS\right] = 1 - \left[\frac{161 - 0{,}042 \times 734.5}{1000} \times \text{Log}222.7\right] \quad \mathbf{A = 0{,}825}$$

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 ruissèlement Kr10 est faite par interpolation linéaire entre les valeurs de Kr70 et kr100. Ces valeurs sont déterminées graphiquement à l'aide des courbes empiriques ou à partir des formules analytiques définies comme suite [7, p. 45]. Nous utiliserons les deux méthodes

$$\mathrm{K_{r70}} \text{ ou } \mathrm{K_{r100}} = \frac{\mathrm{a}}{\mathrm{S + b}} + \mathrm{c}$$

En régime sahélienne et pour un bassin versant dont la superficie est supérieure à 10 km^2.

Pour une classe d'infiltrabilité P3 (RI) et un indice global de pente compris entre 3 et 7, les variables a, b et c nécessaire à la détermination des coefficients de ruissellement (k_{r70} et k_{r100}) ainsi que les résultats de calcul sont présentés dans le tableau suivant :

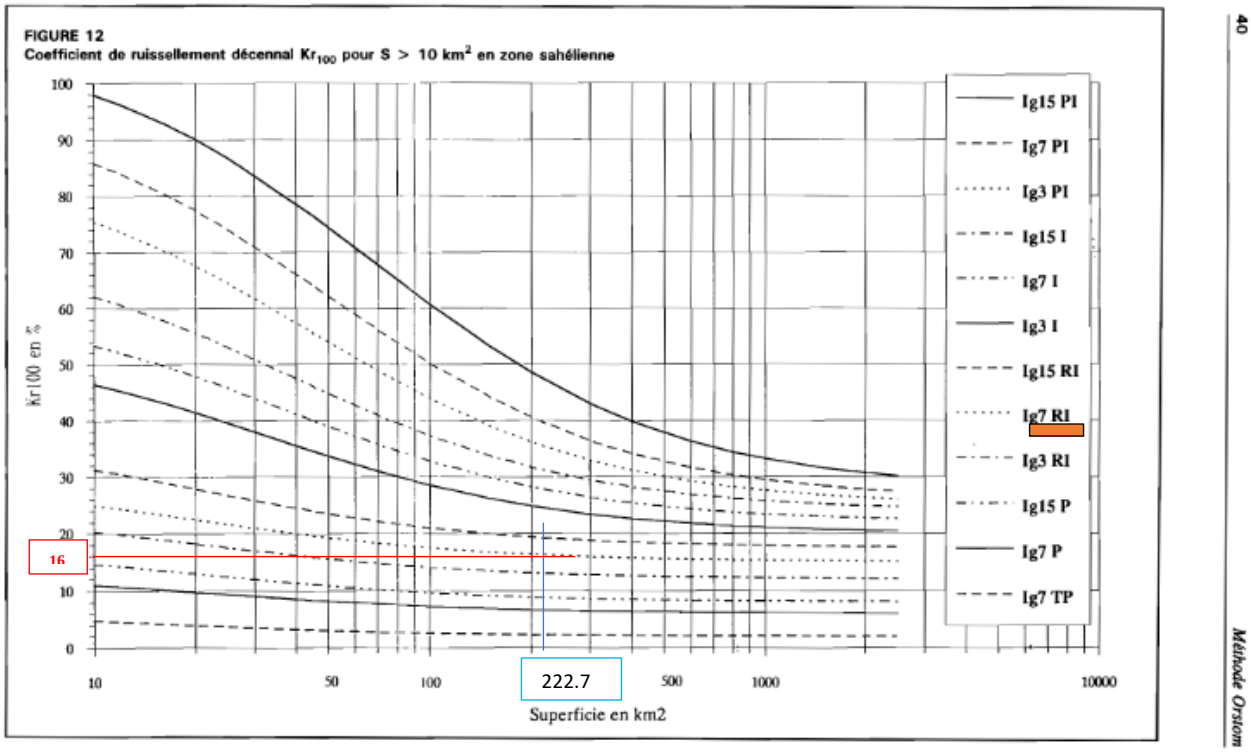
Calcul de Kr10 avec la méthode ORSTOM

Ig	**Kr70**				**Kr100**				**Kr10**
	a	b	c	**Kr 70 (%)**	a	b	c	**Kr100 (%)**	
3	164	17	10,5	**11,18**	250	20	12	13,03	**12,63**
7	239	17,7	14,5	**15,49**	300	20	15	16,24	**16,07**
6.03				14,45				15,46	**15,24**

Le Kr 10 pour Ig est obtenu par une interpolation linéaire entre Kr10 (Ig=3) et Kr10 (Ig=7). Cela nous donne **15,24 %**

Nous obtenons ainsi un coefficient de ruissellement de la crue décennale de **Kr_{10}=15,24.**

Graphiquement on lit Kr10 en fonction surperficie et de l'indice globale de pent et de la classe d'infiltrabilité. Ainsi on a: **Kr 10 =16%**



Détermination du temps de base Tb10.

Le temps de base *Tb 10* est déterminé en utilisant les relations proposées ci-après ou à partir des courbes.

$$Pour\ Ig = 3\ et\ S > 7\ km^2\ T_{b10} = 250 * S^{0.35} + 300 = 1958.21\ mn$$

$$Pour\ Ig = 7\ et\ S > 6\ km^2\ T_{b10} = 126 * S^{0.35} + 100 = 935.74\ mn$$

Toutes ces expressions se rapportent à des valeurs de début de saison des pluies, période durant laquelle les temps de base sont les plus courts. Elles correspondent donc aux situations les plus dangereuses, tous les autres paramètres caractérisant la crue (notamment la pluie annuelle, la superficie, le coefficient de ruissellement décennal) étant supposés constants il conviendra d'interpoler entre les valeurs de *Ig* encadrant l'indice de pente du bassin versant analysé.

$$\boxed{Pour\ Ig = 6.03\ et\ S = 222.7\ km^2\ T_{b10} = 1184.27\ mn}$$

Détermination graphique

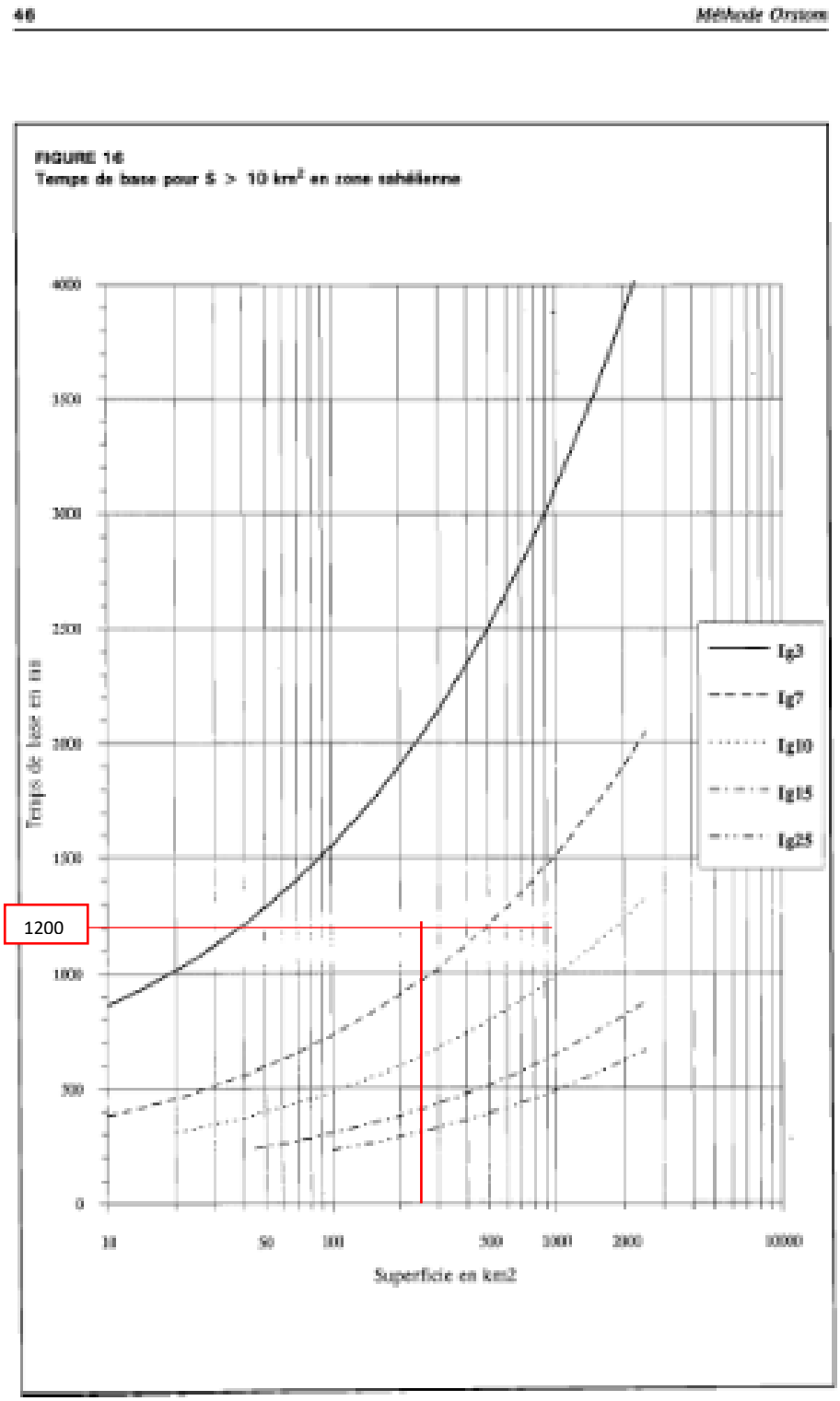


Figure 11: Détermination du temps de base pour des superficie de bassin versant supérieur à 10 km2

Tb10 =1200 mn

Le temps de base calculé à l'aide des formules donne Tb =1184 minutes pendant que la détermination graphique donne 1200minutes. Il y a une légère différence entre cette valeur. (16 mn). Cela pourrait être du aux précisions de lecture graphique**. Nous conservons la valeur Tb10 = 1184,27 mn.**

Détermination du temps de montée Tm10.

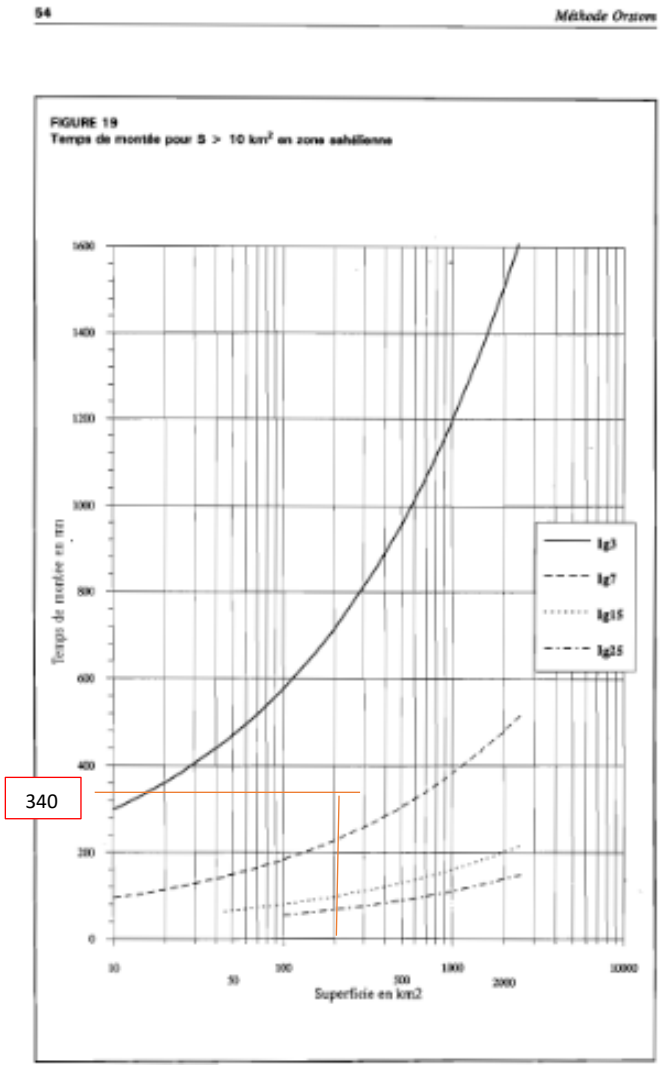
La prédermination du temps de montée se passe exactement comme celui de temps de base.

$$Pour\ Ig = 3\ et\ S > 11\ km^2\ T_{b10} = 100 * S^{0.35} + 75 = 738.29\ mn$$

$$Pour\ Ig = 7\ et\ S > 6\ km^2\ T_{b10} = 32 * S^{0.35} + 23 = 235.25\ mn$$

Par interpolation pour Ig = 6.03 S= 222.7 Tm10=357.52 mm

Par la méthode graphique on a : Tm10 = 340 mm



On **retiendra Tm10= 357.52**

Tableau 25: **Synthèse du Calcul du débit décennal Q10 par la méthode d'ORSTOM**

Calcul du débit décennal Q10 par la méthode d'ORSTOM	
Pluviométrie moyenne et coefficient d'abattement	
Coefficient d'abattement A $A = 1 - \left[\frac{(161 - 0{,}042 \times P_{an})}{1000} \times \log(S)\right]$	0,69
Pluviométrie journalière max pour période de retour de 10 ans P10 (mm)	93,47
Pluie moyenne décennale Pm10 (mm) $\text{Pm10} = \text{P10} \times \text{A}$	64,91
Coefficients de ruissellement Kr10 $Kr70 = \frac{a}{(S+b)} + c$	
Coefficient de ruissellement pour P = 70 mm Kr70 (%) $Kr100 = \frac{a'}{(S+b')} + c$	14,45

Coefficient de ruissellement pour P = 100 mm Kr100 (%)	15,46
Coefficient de ruissellement Kr10 (%)	15,24
Temps de base Tb10	
Temps de base Tb10 (min) $T_b = a \times S^{0,35} + b$	1 184,27
Temps de base Tb10 (h)	19,74
Temps de montée Tm10	
Temps de montée Tm10 (min) $T_m = a \times S^{0,35} + b$	357,52
Temps de montée Tm10 (h)	5,96
Coefficient de pointe α10	
Coefficient de pointe α10	2,40
Le coefficient est pris égal 2.4 car	
Lame ruisselée, volume ruisselé et débit	
Lame d'eau ruisselée Lr10 (mm) $\mathrm{Lr10} = \mathrm{Pm10} \times \mathrm{Kr10}$	9,89
Volume ruisselé Vr10 (m³) $\mathrm{Vr10} = \mathrm{Lr10} \times \mathrm{S}$	2 202 501,73
Débit moyen de ruissellement Qmr10 (m³/s) $\mathrm{Qr10} = \mathrm{Qmr10} \times \alpha 10$	31,00
Débit maximal de pointe Qr10 (m³/s) $\mathrm{Qmr10} = \frac{Vr10}{Tb10}$	74,39
Coefficient de correction (m) Zone sahélienne en RI (variable entre 3% et 6%)	1,03
Débit de projet décennal Q10 (m³/s) $\mathrm{Q10} = \mathrm{Qr10} \times \mathrm{m}$	**76,62**
Proposition du Check list 3a 1e ; reduition du débit de 40% si Ic = 1.54 et resuition de 50% si Ic=1.9 pour ce cas, Ic= 1.66, on fera un reduction de 43%---Q10 **(m³/s)**	**43,68**

Annexe 7 : Etude de la retenue

L'étude de la retenu consiste, à l'aide des données topographiques, vérifié que les conditions du terrain favorisent la mobilisation de la quantité d'eau cinq cent mille (500 000) m^3.

- Courbe hauteur volume
- La courbe hauteur surface

Courbe Hauteur-volume Hauteur-Surface			
Côte Z(m)	Superficie Cumil (m2)	Vcumul (m3)	Heau (m)
299,75	0	0	0,00
300	625	75,23	0
300,25	956	98,76	0
300,5	1 113,00	139,13	0,25
300,75	9 614,00	1 480,00	0,5
301	28 418,00	6 234,00	0,75
301,25	44 088,00	15 297,25	1
301,5	82 554,00	31 127,50	1,25
301,75	113 454,00	55 628,50	1,5
302	154 863,00	89 168,13	1,75
302,25	195 484,00	132 961,50	2
302,5	238 927,00	187 262,88	2,25
302,75	278 911,00	251 992,63	2,5
303	316 004,00	326 357,00	2,75
303,25	362 229,00	411 136,13	3
303,5	413 461,00	508 097,38	3,25
303,75	457 067,00	616 913,38	3,5
304	529 526,00	740 237,50	3,75
304,25	617 655,00	872 619,00	4
304,5	668 105,00	1 005 000,50	4,25

Courbe hypsométrique

Données d'entrée de la courbe hypsométrique		
Altitudes (m)	**Surfaces cumulées (km2)**	**Pourcentage des surfaces cumulées (%)**
312	222,67	100
336	199,01	89,37
351	164,54	73,89
366	122,92	55,20
381	91,14	40,93
397	64,52	28,98
412	38,73	17,39
427	21,75	9,77
444	11,54	5,18
475	0,00	0,00

Annexe 8 : Conception et dimensionnement du barrage

- **Dimensionnement de la digue**

Calcul de la revanche		
Désignation	**Formules**	**Valeurs**
Formule de Molitor et Gaillard		
Hauteur du barrage (m)	Cette hauteur correspond à la hauteur de la charge d'eau. Pour l'obtenir, on fait la différence entre la côte PNE- côte TN (point le plus bas) = 303,75-300,25= **3,5 m**	3,5
Pente longitudinale I	A l'aide de la formule de Grésillon, On détermine la pente longitudinale $I = \frac{0,026}{S^{0,5}}$	1,74
Fetch f (km)	la fetch correspond à la longueur maximale de l'étendu du cour d'eau. Elle s'obtient à partir de formule analytique ou de ou à partir des mesures. A l'aide des données topographique qui ont permis à la génération du plan de masse de la retenu, on mesure f= 1.21 km $f = \frac{Hb}{Pente}$	1,21
Vitesse du vent (m/s)		1,50
Hauteur des vagues hv (m)	$h = 0,76 + 0,032\sqrt{U \times f} - 0,26$	0,53
Formule de Gaillard		
Vitesse des vagues V (m/s)	$V = 1,5 + 2\times h$	2,56
Revanche (m)	$R = 0,754 \times h + \frac{Vv^2}{2g}$	0,73
Formule Simplifiée		
Volume de la retenue (Million de m3)		0,62
Constante	$H^2\sqrt{V}$	9,62
Revanche mini pour 5 (m)		0,60
Revanche mini pour 30 (m)		0,80
Revanche mini interpolation (m)		0,64
Moyenne des formules simplifiées et de Molitor_Gaillard (m)		**0,69**

Calcul de la revanche		
Désignation	**Formules**	**Valeurs**
Valeur retenue de la revanche		**0,75**
Calcul de la largeur en crête de la digue		
Désignation	**Formules**	**Valeurs**
Formule de KNAPPEN		
Revanche R (m)		0,75
Charge déversante sur seuil h (m)		0,75
Hauteur du déversoir Hd (m)		3,50
Hauteur du barrage ou de la digue Hb (m)	$H_b = H_d + h + R$	5,00
Largeur en crête Lc (m)	$L_c = 1{,}65\sqrt{H_b}$	3,71
Formule de PREECE		
Revanche R (m)		0,75
Charge déversante sur seuil h (m)		0,75
Hauteur du déversoir Hd (m)		3,50
Hauteur du barrage ou de la digue Hb (m)	$H_b = H_d + h + R$	5
Largeur en crête Lc (m)	$L_c = 1 + 1{,}1\sqrt{H_b}$	**3,46**
Autre Formule		
Largeur en crête Lc (m)	$L_c = 3{,}6\sqrt[3]{H_b} - 3$	3,16
Moyenne		3,44
Largeur en crête retenue Lc (m)		**3,50**
Calcul de l'épaisseur des enrochements		
Désignation	**Formules**	**Valeurs**
Hauteur des vagues hv (m)		0,53
D_{50}		0,25
Epaisseur des enrochements e (m)	$e = 1{,}5\ D_{50}$	0,38

Calcul de la revanche		
Désignation	**Formules**	**Valeurs**
Epaisseur retenue des enrochements amont (cm)		40
Epaisseur retenue des enrochements aval (cm)		20
Calcul du débit de fuite et des dimensions du drain		
Désignation	**Formules**	**Valeurs**
Largeur en crête retenue Lc (m)		3,50
Pente des talus amont et aval		1V/2,5H
Largeur de fondation (m)	$L_f = L_c + (m_{amont} + m_{aval}) \times H_b$	23,7
Longueur du drain horizontal (m)	$L_d = \frac{L_f}{4}$	5,9
X (m)	$X = L_f - L_d$	17,8
d (m)	$d = X - 0{,}7b$	12,9
Y_o (m)	$Y_O = \sqrt{{H_d}^2 + d^2} - \mathrm{d}$	0,47
Perméabilité du matériaux argileux K_{ar} (m/s)		1,0E-09
Débit de fuite (m^2/s)	$q = K_{ar} \times Y_o$	4,67E-10
Perméabilité du sable grossier pour drain K_d (m/s)		1,00E-04
Epaisseur du drain e_d (m)	$e_d = 2\sqrt{\frac{qL_d}{k_d}}$	0,01
Epaisseur du drain retenu (cm)		20
Récapitulatif de certaines dimensions du barrage et du déversoir		
Hauteur du deversoir (m)		3,5
Revanche (m)		0,75
Charge déversante sur seuil h (m)		0,75
Hauteur du barrage ou de la digue (m)		5,00
Largeur en crete de la digue (m)		3,5

Calcul de la revanche		
Désignation	**Formules**	**Valeurs**
Largeur de fondation (m)		24
Longueur de la digue (m)		693
Pente des talus amont et aval		2H/1V
Longueur du drain (m)		6
Epaisseur du drain (cm)		20
Débit de fuite (m^2/s)	0	4,67E-10

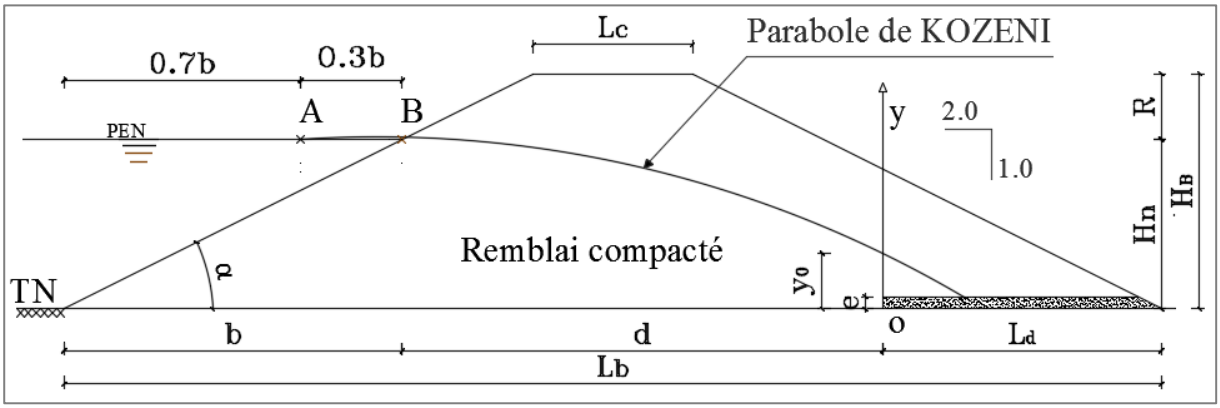


Image 12: Graphique de la parabole de KOZENI

Annexe 9: dimensionnement hydraulique du déversoir

Désignation	Formules	Valeurs
Calcul de la largeur en crête du deversoir		
Désignation	**Formules**	**Valeurs**
Formule de KNAPPEN		
Hauteur du déversoir Hd (m)		3,50
Largeur en crête Lc (m)	$L_c = 1{,}65\sqrt{H_d}$	3,09
Formule de PREECE		
Hauteur du déversoir Hd (m)		3,50
Largeur en crête Lc (m)	$L_c = 1 + 1{,}1\sqrt{H_d}$	**3,06**
Autre Formule		
Largeur en crête Lc (m)	$L_c = 3{,}6\sqrt[3]{H_d} - 3$	2,47
Moyenne		2,87
Largeur en crête retenue Lc (m)		**3,00**
La largeur en crête du deversoir est de 3,0 m.		

Annexe 10 : dimensionnement de l'évacuateur de crus

Conception Déversoir

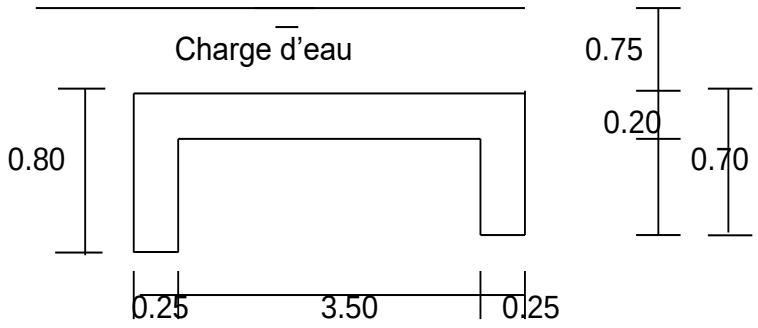
Vérification des profondeurs d'ancrage du radier

Données de base :

Largeur du radier : 3.50 m (distance horizontale Lh)

Epaisseur du radier : 0.20 m

Charge d'eau dans le bassin de dissipation : 0.75 m



La loi de LANE est

- **Hypothèses générales de calcul**

Structure

La structure est un raider en béton armé porté par deux appuis sous forme de poutre le tout reposant sur un remblai latéritique compacté.

Matériaux

Béton :

Résistance caractéristique du béton à la compression : fc28 = 20 MPa. Conditions défavorables de mise en œuvre.

Poids volumique du béton armé : **2500 daN/m3**

Charge permanente : poids propre du béton

Surcharge d'exploitation : Q1+Q2 avec :

Q1 = Poids d'un véhicule de 30 t reparti sur 04 roues d'où 7,5t en moyenne / m2 d'influence.

Q2 = Poids surface de 1m d'eau sur le déversoir soit 1t / m2.

Il est fort improbable que Q1 et Q2 se manifestent en même temps c'est-à-dire de retrouver un camion de 30t sur le déversoir-routier au cours de l'épisode de crue exceptionnelle capable de provoquer une lame d'eau de 1m sur le déversoir. En tenant néanmoins compte d'un coefficient de simultanéité de 90% on aura donc à considérer comme surcharge d'exploitation :

Q = 90% x (Q1 + Q2) = 7.65 tonnes / m2 soit environ 75 KN/m2.

Enrobage des aciers minimum : 5 cm

Coefficient de sécurité : Gamma = 1,5

Acier :

Type d'acier : HA de nuance FeE 400 Limite d'élasticité : fe = 400 MPa

Coefficient de sécurité : Gamma = 1,15

Règlement

Calcul du béton armé : BAEL 91 modifié 99

Fascicule 61 titre II pour les surcharges routières

1. Unité

Longueur	M
Force	KN
Moment	KN.m
Contrainte	MPa

DALLE - CALCUL SUR 2 APPUIS

B.A.E.L 91 révisé 99

CHANTIER : BARRAGE DE DOUMBALA

Données de l'étude

Repère : **Dalle n°1**

Lx = 3,50 m

Charges (G) diverses	
G' (KN / m²) =	0,50

Garde corps, etc.

Travée de rive	
(1) Oui, (2) Non	1

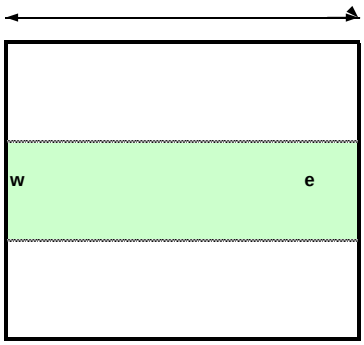
Epaisseur de la dalle	
ep (m) =	0,2

Contrainte de l'acier utilisé	
FeE (MPa) =	400

Contrainte du béton à 28 j	
Fc28 (MPa) =	20

Charges d'exploitations Q	
Q (KN / m²) =	75,00

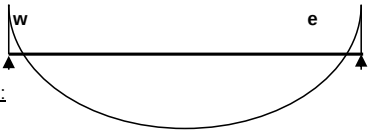
Enrobage des aciers	
C (cm) =	5



Ly = 1,00 m

Coef Mw = 0,15 M0

M0(w) prépond : KN.m



Coef Me = 0,15 M0

M0(e) prépond : KN.m

M0 (travée) = 124,80 KN.m

Calcul des moments agissants

Charges permanentes G	(épaisseur dalle x 25 KN / m3) + G'	G =	6,50	KN / m²
Effort ultime repris par le plancher	(1,35G + 1,5Q)	P ELS =	81,50	KN / m
Moment isostatique de la travée	(Pu x Lx²) / 8	Mo (trav) =	124,80	KN.m
Moment sur appui gauche (w)	(M0(w) prépond x Coef Mw)	Mw =	18,72	KN.m
Moment sur appui droite (e)	(M0(e) prépond x Coef Me)	Me =	18,72	KN.m
Calcul du coefficient α	Q / (G + Q)	α =	0,92	
Calcul du coefficient l	Maxi (1,05 ; 1 + (0,3 x α))	λ =	1,28	
Moment dans la travée	[(2 x λ x M0) - Me - Mw] / 2	Mt =	140,53	KN.m
Vérification	Travée de rive => Mt > [(1,2 + 0,3α) / 2] x M0 Travée intermédiaire => Mt > [(1 + 0,3α) / 2] x M0	Contrôle :	Vérifié	

Calcul des sections d'armatures

Ferraillage de la travée sens (Lx)	Soit (Mu), moments agissants (μμ<μl)	Ax =	27,27	cm² / m²
Ferraillage sur appui (w)	Calculs identiques à une section	Ax (w) =	2,90	cm² / m²
Ferraillage sur appui (e)	rectangulaire (ELU)	Ax (e) =	2,90	cm² / m²
Ferraillage mini dans le sens (Ly)	(8 x ep) pour FeE 400 (6 x ep) pour FeE 500 ou TS	ρ0(y) =	1,92	cm² / m²
Ferraillage mini dans le sens (Lx)	ρ0(y) x ((3 - α) / 2)	ρ0(x) =	2,00	cm² / m²

Vérification de la contrainte de cisaillement

Effort tranchant maximal (sens L(x))	1,10 x ((Pu x L(x)) / 2)	Vu.max =	156,89	KN
Contrainte tangente de travail	Vu / (1.00 x (ep - C))	τu =	0,826	MPa
Contrainte tangente admissible	(0,07 x Fc28) / 1,5	τu.adm =	0,933	MPa
Vérification	τu < τu.adm	Vérification :	Vérifié	

Vérification des critères de flèche

1ere Condition:	ep / Lx > 1/20 x Mt(x) / M0(x)	Vérification :	Vérifiée
2eme Condition:	Atx / (bo x d) < 2 / fe	Vérification :	Non vérifiée

Aciers en travée

En travée, il faut au minimum 27,27cm2 d'acier par m2 de béton

En supposant donc une nappe constituée par des HA 12 (aciers principaux) et des HA 10 (aciers secondaires) on a : Section d'un HA 10 = 0.785cm2 ; Section d'un HA 12 = 1,13cm2

Section HA 10 + Section HA 12 = 1,915cm2

D'où la quantité totale d'acier qu'il faut par m2 est : n = 27,18 / 1.915 = 14 aciers soit donc 7 HA 12 et 7 HA 10 par m2.

L'écartement entre acier sera de e = 1m / 7 = 0,145m soit environ 15 cm

Comme la dalle fait 20cm, un ferraillage en double nappe est nécessaire. (Fascicule 65)

Tableau des armatures en double nappe

	Acier principale	Acier secondaire	Ecartement (cm)
Nappe 1	HA 12	HA 10	15
Nappe 2	HA 12	HA 10	15

Tableau 26:Valeur du coefficient C de LANE

Valeurs du coefficient *C* de LANE

Nature du terrain	C
Sables fins et limons	8,5
Sables fins	7
Sables moyens	6
Gros sables	5
Petits graviers	4
Gros graviers	3
Mélange de graviers et de gros galets	2,5
Argile plastique	3
Argile consistante	2
Argile dure	1,8

Annexe 11 : Dimensionnement du bassin de dissipation

- **Détermination de l'enfoncement D du bassin de dissipation**

On assimile le chenal situé après le bassin à de dissipation à un canal de Bresse (Largeur du chenal infini). Le débit unitaire dans le chenal est $q = \frac{Q_0}{l}$ avec Q_0 le débit de crue et l la largeur du bassin de dissipation. Grâce aux travaux de GRESILLON et LAHAYE, nous pouvons déterminer l'enfoncement D en fonction du tirant y_n/H_0 et de la lame d'eau au-dessus du seuil h/H_0.

Sur l'abaque (techniques des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale page 128) on lit la valeur de $D/H0$ qui permet d'avoir la valeur de l'encaissement D du bassin de dissipation.

$q\ (m^3/s/ml)$	$y_n(m)$	$H_0(m)$	$h(m)$	y_n/H_0	h/H_0	D/H_0	$D(m)$
1,45	0,6	3,5	0,75	0,17	0,23	0,27	1,0

- **Caractéristiques d'entrée du ressaut**

Le débit unitaire au-dessus du seuil	$q(m^3/s/ml) = \frac{Q_0}{l}$	$q = \frac{144,63}{100}$	$q = 1,45 m^3/s/ml$
La vitesse au-dessus du seuil	$v_0(m/s) = \frac{q}{h}$	$v_0 = \frac{1,45}{0,75}$	$v_0 = 1,93\ m/s$
La ligne d'eau	$H_e(m) = D + H_0$	$H_e = 5 + 1,0$	$H_e = 6,0\ m$
La profondeur d'entrée de l'eau dans le bassin	$y_1(m) = \frac{q_0}{\sqrt{2 * g * (Z - y_1)}}$	Par itération	$y_1 = 0,2\ m$
La vitesse à l'entrée du bassin	$V = \sqrt{2g\left[0.9\left(H + h + \frac{{V_0}^2}{2g}\right) - Y_1\right]}$		$V = 9,6\ m/s$
Le nombre de Foudre	$F_r = \frac{V}{\sqrt{g * y_1}}$	$F_r = \frac{9,6}{\sqrt{9,81 * 0,2}}$	$F_r = 6,85$
Caractéristiques à la sortie	$y_2 = \frac{y_1}{2}\left(\sqrt{1 + 8 * {F_{r1}}^2} - 1\right)$	$y_2 = \frac{0,15}{2}\left(\sqrt{1 + 8 * 9,17^2} - 1\right)$	$y_2 = 1,44$

La condition pour que le ressaut reste dans le bassin de dissipation :

$$y_2 \leq y_n + D$$

$$y_n + D = 1 + 0{,}6 = 1{,}6\ m$$

La condition est vérifiée.

- Choix du bassin de dissipation et ses caractéristiques

$$F_{r1} = 6{,}85 > 4{,}5$$

Le ressaut se produit alors nettement. La mise en place des blocs et des déflecteurs permet de raccourcir le bassin et évite le déplacement du ressaut à l'aval. Ici la vitesse ne dépasse pas 15m/s nous utiliserons le bassin de type II.

La largeur du bassin : $\frac{L}{y_2} = 2{,}6 \rightarrow L = 2{,}6 * y_2 = 2{,}6 * 1{,}45$

$$L = 3{,}75\ m$$

La largeur retenue du bassin de dissipation est de 4 m.

- **Les blocs de chute**

$y_1(m)$	Hauteur (m)	Largeur en base (m)	Largeur en crête (m)	Espacement (m)
0,15	0,15	0,15	0,30	0,15

- **Les blocs chicanes**

Hauteur	$\frac{h_2}{y_1} = 2$	$h_2 = 2 * 0{,}2$	$0{,}40\ m$
Largeur en base	$0{,}75 * h_2$	$0{,}75 * 0{,}40$	$0{,}30\ m$
Largeur en crête :	$0{,}2 * h_2$	$0{,}2 * 0{,}40$	$0{,}08\ m$
Espacement :	$0{,}75 * h_2$	$0{,}75 * 0{,}40$	$0{,}30m$
Distance bloc de chute – bloc chicane $0{,}80 * y_2$		$0{,}80 * 1{,}45$	$1{,}20\ m$

- **Seuil terminal**

La hauteur du seuil terminal :

$$\frac{h_4}{y_1} = 1{,}7 \rightarrow h_{seuil} = 1{,}7 * 0{,}2 = 0{,}34\ m$$

Tableau 27:Synthèse du dimensionnement du bassin de dissipation d'énergie

Calcul du bassin de dissipation d'énergie		
Désignation	**Formules**	**Valeurs**
Bassin de dissipation		
Longueur du déversoir ou largeur du coursier l (m)		100
Lame déversante h (m)		0,75
Pelle maximale du déversoir H_0 (m)		3,50
Y_n/H_0		0,14
h/H_0		0,21
D/H_0		0,27
Enfoncement du bassin de dissipation calculé D (m)	$D = H0 \times (D/H0)$	0,945
Enfoncement du bassin de dissipation retenu D (m)		1,00
Débit unitaire (m2/s)	$q = \frac{Q}{L}$	1,45
Vitesse de l'eau au dessus du seuil V_0 (m/s)	$V_0 = \frac{q}{h}$	1,93
Ligne d'eau H (m)	$H = D + H_0$	4,50
Accéleration de la pesanteur g (m/s^2)	$Z = H_0 + H + \Delta H$	9,81
Vitesse d'eau à l'entrée du bassin de dissipation V (m/s)	$V = \sqrt{2g\left[0.9\left(H + h + \frac{{V_0}^2}{2g}\right) - Y_1\right]}$	9,60
Tirant d'eau à l'entrée du bassin de dissipation Y_1 (m)	$Y_1 = \frac{Q}{l \times V}$	0,20
Débit maximum évacué Q (m^3/s)	$Q = Y_1 \times l \times V$	191,97
Nombre de froude F	$F = \frac{V}{\sqrt{gY_1}}$	6,85

Calcul du bassin de dissipation d'énergie		
Désignation	**Formules**	**Valeurs**
Tirant d'eau à la sortie du bassin de dissipation Y_2 (m)	$Y_2 = \frac{Y_1 \times \left[(8F^2+1)^{1/2}-1\right]}{2}$	1,44
L/Y_2		2,60
Longueur calculée du bassin de dissipation L (m)		3,75
Longueur retenue du bassin de dissipation L (m)		4,00
Blocs chicanes		
Nombre de froude F		6,85
y_1 (m)		0,20
$h2/Y_1$		2,00
V/H		1/1
Hauteur h_2 (m)		0,40
Largeur l_2 (m)	$l_2 = 0.75 \times h_2$	0,30
Espacement e_2 (m)	$e_2 = 0.75 \times h_2$	0,30
Epaisseur en crête (m)	$l_2 = 0.20 \times h_2$	0,08
Blocs de chute		
Nombre de froude F		6,85
Hauteur h_2 (m)		0,40
Largeur à la base b_1 (m)		0,40
Espacement e_1 (m)		0,40
Seuil terminal		
Nombre de froude F		6,85
y_1 (m)		0,20
h_4/Y_1		1,75
Pente		2H/1V
Hauteur h_4 (m)		0,35

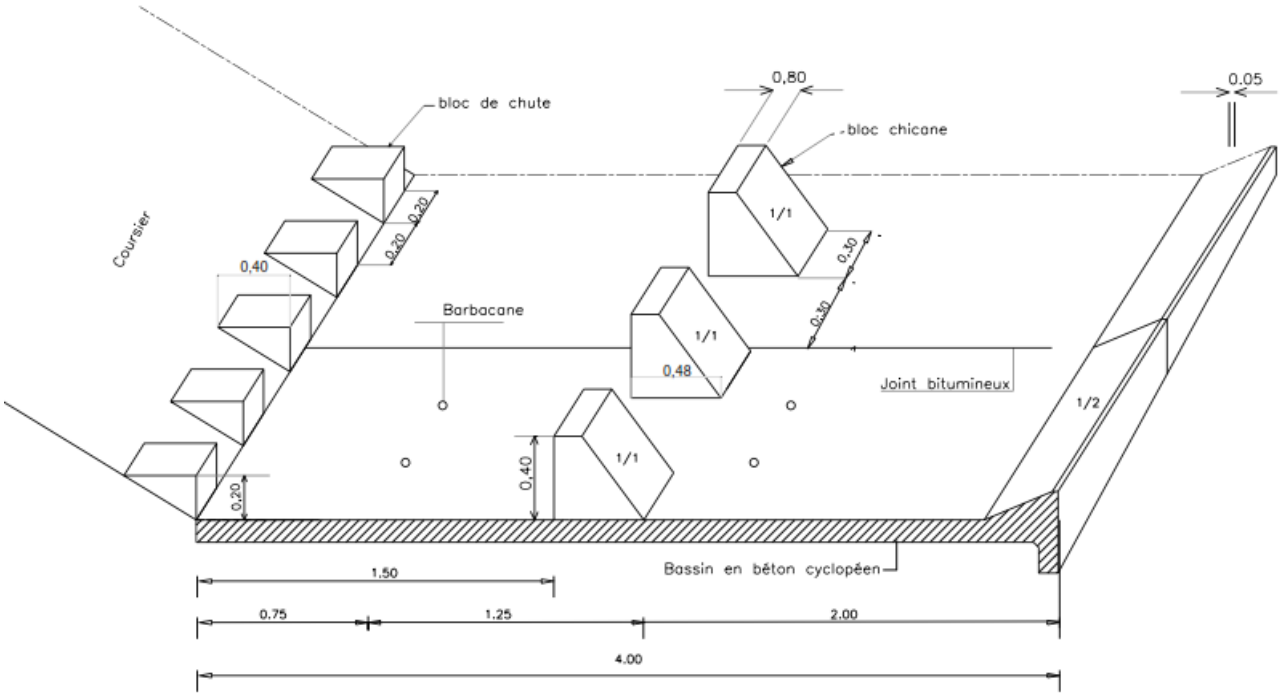


Image 13:Bassin de dissipation en perspective

Annexe 12 : Etude d'impact environnemental et social

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	**Objectifs spécifiques**	**Résultats**	**Activités**	**Période de mise en œuvre**	**Acteurs**	**Indicateurs objectivement vérifiables**	**Moyens de vérification**	**Ordre de priorité**
MILIEU HUMAIN								
SANTÉ - SÉCURITÉ VOISINAGE	Réduire les risques de propagation des IST/SIDA. Accroître la sécurité des riverains du site de la retenue d'eau. Diminution de la nuisance phonique pendant les travaux. Réalisation de latrines pour le personnel des entreprises.	Diminution du nombre d'accidents de la circulation. le personnel des chantiers et les riverains sont sensibilisés sur les IST/SIDA. La surveillance médicale du personnel et des riverains est assurée pendant les travaux Les risques de pollution sonore sont atténués	Signalisation provisoire au droit des zones des travaux. Campagnes de sensibilisations, distribuer gratuitement des préservatifs et mise en place d'un réseau de vente de préservatifs Limitation des horaires de travail pendant le jour Vérification régulière du bon fonctionnement des engins	Dès le début des travaux et pendant les travaux.	Entreprises MDC Ministère de la Santé Prestataire de service.	Nombre de préservatifs écoulés Nombre d'accidents observés. Les Enquêtes auprès des riverains du site du barrage sont réalisées.	Rapports des enquêtes Rapports du comité de suivi.	Très prioritaire

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	**Objectifs spécifiques**	**Résultats**	**Activités**	**Période de mise en œuvre**	**Acteurs**	**Indicateurs objectivement vérifiables**	**Moyens de vérification**	**Ordre de priorité**
MILIEU HUMAIN								
EMPLOI	Création d'emploi.	Augmentation de l'emploi.	Recrutement des travailleurs ressortissants des agglomérations riveraines du site du barrage.	Pendant les travaux.	Entreprises	Nombre de personnes embauchées.	Rapports d'activités des entreprises et de la MDC.	Indispensable
AGRICULTURE / ÉLEVAGE	Développement de l'agriculture et de l'élevage.	Augmentation de la production agropastorale.	Entretenir fréquemment les ouvrages. Doter les exploitants des outils attelés de travail. Donner une place de choix dans la stratégie alimentaire du bétail en encourageant la culture fourragère.	Tout le temps. Après les travaux.	DGAH Comités de suivi. Ministères chargés de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche.	Travaux d'entretien courant réalisés. Augmentation de la production agropastorale.	Rapports sur l'entretien des ouvrages des entreprises adjudicataires. Rapports d'activités de la Direction Régionale chargée de l'Agriculture et de l'Élevage.	Indispensable

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	**Objectifs spécifiques**	**Résultats**	**Activités**	**Période de mise en œuvre**	**Acteurs**	**Indicateurs objectivement vérifiables**	**Moyens de vérification**	**Ordre de priorité**
MILIEU HUMAIN								
PÊCHE	Ressources halieutiques.	Augmentation et écoulement des produits de la pêche.	Empoisonner les plans d'eau Renforcer par l'entretien courant des infrastructures pour pérenniser les acquis Organiser le secteur	Tout le temps Après les travaux.	Min chargé des Ressources Animales et Halieutiques et Associations	Statistique Flux des transactions.	Rapports d'activités de la direction régionale compétente.	Indispensable
COMMERCE	Développement du secteur du commerce.	Augmentation des échanges commerciaux.	Entretenir couramment les ouvrages et les infrastructures pour pérenniser les acquis.	Après les travaux.	Structures locales / régionales du Ministère de l'Économie et des Finances. Comités de suivi.	Travaux d'entretien courant réalisés. Augmentation du volume des échanges de marchandises.	Rapports d'activités des structures décentralisées des Ministères chargés de l'Économie et du commerce.	Indispensable

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	**Objectifs spécifiques**	**Résultats**	**Activités**	**Période de mise en œuvre**	**Acteurs**	**Indicateurs objectivement vérifiables**	**Moyens de vérification**	**Ordre de priorité**
MILIEU HUMAIN								
ARTISANAT	Développement de l'artisanat.	Augmentation des produits de l'artisanat.	Entretenir couramment les ouvrages et les infrastructures pour pérenniser les acquis.	Après les travaux.	Directions régionales de la promotion de l'artisanat. Comités de suivi.	Travaux d'entretien courant réalisés. Augmentation du volume des échanges des produits de l'artisanat.	Rapports d'activités des directions régionales de la promotion de l'artisanat.	Indispensable
CONDITIONS DES FEMMES RURALES ET COUCHES VULNERABLES	Amélioration des conditions de vie des femmes rurales.	Les conditions des femmes sont améliorées	Entretenir couramment les ouvrages. Initier des micro projets en faveur des femmes rurales.	Pendant et après les travaux.	Directions régionales chargées de la promotion de la femme et les structures de micro crédits.	Les tâches ménagères sont allégées. Les micro-projets sont réalisés en faveur des femmes rurales.	Rapports d'activités des services techniques compétents.	Très prioritaire

Intensité de l'impact	Étendue de l'impact	Durée de l'impact	Importance de l'impact
	Régionale	Longue = Permanente	Majeure
		Moyenne	Majeure

Intensité de l'impact	Étendue de l'impact	Durée de l'impact	Importance de l'impact
Forte = Majeure = élevée		Courte = Temporaire	Majeure
	Locale	Longue = Permanente	Majeure
		Moyenne	Moyenne
		Courte = Temporaire	Moyenne
	Ponctuelle	Longue = Permanente	Majeure
		Moyenne	Moyenne
		Courte= Temporaire	Mineure
Moyenne = modérée	Régionale	Longue = Permanente	Majeure
		Moyenne	Moyenne
		Courte = Temporaire	Moyenne
	Locale	Longue = Permanente	Moyenne
		Moyenne	Moyenne
		Courte = Temporaire	Moyenne
	Ponctuelle	Longue = Permanente	Moyenne
		Moyenne	Moyenne
		Courte= Temporaire	Mineure
Faible	Régionale	Longue = Permanente	Majeure
		Moyenne	Moyenne
		Courte = Temporaire	Mineure
	Locale	Longue = Permanente	Moyenne
		Moyenne	Moyenne
		Courte = Temporaire	Mineure
	Ponctuelle	Longue = Permanente	Mineure

Annexe 13 : Devis suivant le plan d'exécution

Devis suivant le plan d'exécution

DESIGNATION		UNITE	QUANTITE tapis argileux	QUANTITE ancrage au jusqu'au bon sol	Prix Unitaire (FCFA)	Montant tapis argileux	Montant ancrage au jusqu'au bon sol	Ecart
Série 00	**Installation et Service**							
1	Amenée, mise en place et repliement des installations générales	FF	1	1	60000000	60 000 000	60 000 000	0
2	Fourniture de dossier d'exécution	FF	1	1	10000000	10 000 000	10 000 000	0
3	Fourniture de dossier de récolement	FF	1	1	5000000	5 000 000	5 000 000	0
Sous-total 00						**75 000 000**	**75 000 000**	0
Série 100	**Terrassement et protection des ouvrages**							
101	Abattage d'arbres (diamètre supérieur à 1 m)	u	15	15	175000	2 625 000	2 625 000	0
102	Débroussaillage et décapage de l'emprise	m^2	14 792,10	9 367,10	500	7 396 050	4 683 550	-2 712 500
103.1	Déblai manuel pour muret de crête aval et mur parapet amont	m^3	291,05	291,05	4000	1 164 200	1 164 200	0
103.2	Déblai à la main pour butée et drain de pied amont et aval (diguettes de protections)	m^3	30	30	4000	120 000	120 000	0
104.1	Déblai aux engins pour butée amont et drain de pied aval	m^3	477,83	477,83	3800	1 815 754	1 815 754	0
104.2	Déblai grande masse aux engins (tranchée)	m^3	8 321,50	27 906,53	3800	31 621 700	106 044 804	74 423 104
105	Remblai argileux compacté pour tranchée	m^3	8 321,50	27 906,53	5800	48 264 700	161 857 859	113 593 159
106	Remblai argileux compacté aux engins pour recharge de la digue	m^3	15 653,79	15 653,79	5800	90 791 982	90 791 982	0
107	Remblai argileux provenant du lit de la rivière pour corps de la diguette du chenal d'évacuation	m^3	360	360	5800	2 088 000	2 088 000	0
108.1	Couche de pose de graveleux latéritique sur talus amont digue (ép.15cm)	m^3	575,52	575,52	7000	4 028 640	4 028 640	0
108.2	Couche de pose en graveleux latéritique pour parement amont et aval diguettes (ép. 10cm)	m^3	26,83	26,83	7000	187 810	187 810	0

DESIGNATION		UNITE	QUANTITE tapis argileux	QUANTITE ancrage au jusqu'au bon sol	Prix Unitaire (FCFA)	Montant tapis argileux	Montant ancrage au jusqu'au bon sol	Ecart
109.1	Couche de couronnement latéritique pour crête de toute la digue (ép.20 cm)	m^3	349,26	349,26	7000	2 444 820	2 444 820	0
109.2	Graveleux latéritique pour revêtement talus aval digue (ép.20cm)	m^3	708,27	708,27	7000	4 957 890	4 957 890	0
109.3	Graveleux latéritique pour protection de la crête diguettes (ép. 20cm)	m^3	24	24	7000	168 000	168 000	0
110.1	Perré sec pour protection du talus amont de la digue uniquement (ép.25 cm)	m^3	828,69	828,69	10500	8 701 245	8 701 245	0
110.2	Perré sec pour parements du drain de pied aval (ép.25 cm)	m^3	262,35	262,35	10500	2 754 675	2 754 675	0
110.3	Perrés secs pour parement du talus aval diguettes (ép. 25cm)	m^3	33,54	33,54	10500	352 170	352 170	0
110.4	Perré sec pour parements du drain de pied aval diguettes (ép.25 cm)	m^3	36,06	36,06	10500	378 630	378 630	0
111.1	Perré maçonné pour protection du talus amont du déversoir-radier ép.25cm	m^3	195,77	195,77	45000	8 809 650	8 809 650	0
111.2	Perré maçonné pour protection talus digue au droit du déversoir et alentours bacs de la prise (Ep 25cm)	m^3	20	20	45000	900 000	900 000	0
111.3	Perrés maçonnés pour protection du talus amont (ép. 25cm)	m^3	33,54	33,54	45000	1 509 300	1 509 300	0
112.1	Enrochement à la main pour butée de pied amont	m^3	259,54	259,54	23000	5 969 420	5 969 420	0
112.2	Tapis d'enrochement pour la fin du chenal	m^3	165	165	23000	3 795 000	3 795 000	0
112.3	Enrochement à la main pour butée de pied amont	m^3	15	15	23000	345 000	345 000	0
113.1	Matériaux sableux calibré pour filtre horizontal et vertical	m^3	617,29	617,29	20000	12 345 800	12 345 800	0
113.2	Fourniture et pose de sable filtrant sous dalle du coursier ép.10cm	m^3	77,85	77,85	20000	1 557 000	1 557 000	0
113.3	Lit de pose en sable pour filtre-drain en bas du bassin de dissipation	m^3	35,2	35,2	20000	704 000	704 000	0
114	Gravier calibré pour sortie de filtre-drain	m^3	63	63	50000	3 150 000	3 150 000	0

DESIGNATION		UNITE	QUANTITE tapis argileux	QUANTITE ancrage au jusqu'au bon sol	Prix Unitaire (FCFA)	Montant tapis argileux	Montant ancrage au jusqu'au bon sol	Ecart
Sous-total 1						**248 946 436**	**434 250 199**	185 303 763
Série 200	**Béton**							
201.1	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3 ép: 10cm (ouvrage de prise et de vidange)	m^3	2	2	70000	140 000	140 000	0
201.2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m^3 pour perrés maçonnés, radier, poutres et bèches ép. 10cm	m^3	130	121,21	70000	9 100 000	9 100 000	0
202.1	Béton cyclopéen pour mur parapet amont	m^3	300	291,05	115000	34 500 000	34 500 000	0
202.2	Béton cyclopéen pour bassin de dissipation, seuil terminal et bèche d'ancrage du seuil terminal	m^3	160	137,5	120000	19 200 000	19 200 000	0
202.3	Blocage de gabion en béton cyclopéen	m^3	35	33	120000	4 200 000	4 200 000	0
203.1	Béton armé dosé à 300 kg/m3 coulé en pleine fouille pour enrobage conduite	m^3	6	5,38	195000	1 170 000	1 170 000	0
203.2	Béton armé dosé à 350kg/m3 pour bacs amont / aval de prise	m^3	7	7	200000	1 400 000	1 400 000	0
203.3	Béton armé dosé à 350 kg/m^3 pour dalle du radier, coursier, poutre et bèche d'ancrage coursier, chutes et chicanes	m^3	290	298,15	210000	60 900 000	60 900 000	0
204.1	Maçonnerie de moellon pour muret de crête aval	m^3	150	145,53	70000	10 500 000	10 500 000	0
204.2	Maçonnerie de moellons pour marches d'accès à la crête de digue au droit de la prise/ vidange	m^3	3	3	70000	210 000	210 000	0
Sous-total 2						**141 320 000**	**141 320 000**	0
Série 300	**Dispositifs de confortation**							
301	Joint Waterstop	ml	270	270	70000	18 900 000	18 900 000	0
302	Barbacanes	ml	100	100	4000	400 000	400 000	0
303	Joint bitumineux	ml	140	140	18000	2 520 000	2 520 000	0
304	Fourniture et pose de gabions en fin de bassin de dissipation	m^3	165	165	35000	5 775 000	5 775 000	0

DESIGNATION		UNITE	QUANTITE tapis argileux	QUANTITE ancrage au jusqu'au bon sol	Prix Unitaire (FCFA)	Montant tapis argileux	Montant ancrage au jusqu'au bon sol	Ecart
305	Fourniture et pose de gardes corps métalliques en tubes galva D50 soudés aux balises en IPN 100 de 1,5m disposé tous les 3 m et peints en rouge et blanc	m	110	110	22 000	2 420 000	2 420 000	0
Sous Total 3						**30 015 000**	**30 015 000**	0
Série 400	**Ouvrage de prise / vidange**							
400	Fourniture et pose de conduite en Fonte ductile DN 300 mm	ml	30	30	375000	11 250 000	11 250 000	0
401	Té égal en fonte DN 200	u	1	1	585000	585 000	585 000	0
402	Vanne papillon Φ200 en fonte et accessoires	u	2	2	2800000	5 600 000	5 600 000	0
403	Cône reducteur 300/200	u	1	1	325000	325 000	325 000	0
404	Caillebotis posé sur cornière pour bacs	u	2	2	185000	370 000	370 000	0
405	Crépine Φ300 fabriquée localement	u	1	1	250000	250 000	250 000	0
406	Echelle limnimétrique	u	1	1	525000	525 000	525 000	0
407	Echelle de descente dans les bacs	u	2	2	150000	300 000	300 000	0
Sous Total 4						**19 205 000**	**19 205 000**	-
Série 500	**Autres**							
	-							
500	Sensibilisation pour l'utilisation / entretien de la retenue et la protection des berges	FF	1	1	5000000	5 000 000	5 000 000	0
501	Réalisation de piézomètre pour l'auscultation	Piézomètre	pm	pm	2500000			0
502	Fourniture et pose de bornes dellimitants les PHE	u	55	55	45000	2 475 000	2 475 000	0
503	Fourniture et pose de bornes dellimitants la bande de servitude	u	80	80	45000	3 600 000	3 600 000	0
504	Eclairc et défriche de la cuvette de la retenue d'eau	ha	53	53	300000	15 900 000	15 900 000	0
505	Balise de guidage en béton armé	u	50	50	25000	1 250 000	1 250 000	0

DESIGNATION		UNITE	QUANTITE tapis argileux	QUANTITE ancrage au jusqu'au bon sol	Prix Unitaire (FCFA)	Montant tapis argileux	Montant ancrage au jusqu'au bon sol	Ecart
506	Essais géotechniques sur matériau, remblai et béton in situ ou au laboratoire	FF	1	1	15000000	15 000 000	15 000 000	0
Sous Total 5						**43 225 000**	**43 225 000**	0
TOTAUX GENERAUX (FCFA)						**557 711 436**	**743 015 199**	185 303 763

Annexe 14: Métré

Tableau 28: métré tranché d'ancrage

Voulume tranché

N° Profil	Pi (m)	H.Talus	V. Talus	Larg TA Lt (m)	Distance (m)	Ei= 2*Pi*M+Lt (m)	Si= (Ei+Lt)*Pi/2 (m2)	Sim= (Si-1+Si)/2 (m2)	Vi = Sim*di (m3)
1	1,09	1	3	3,5	0	4,23	4,21	2,11	0,00
2	1,67	1	3	3,5	25	4,61	6,77	5,49	137,32
3	1,37	1	3	3,5	25	4,41	5,42	6,10	152,44
4	1,75	1	3	3,5	25	4,67	7,15	6,28	157,08
5	8,05	1	3	3,5	25	8,87	49,78	28,46	711,52
6	8,12	1	3	3,5	25	8,91	50,40	50,09	1252,17
7	9,37	1	3	3,5	25	9,75	62,06	56,23	1405,73
8	8,80	1	3	3,5	25	9,37	56,61	59,34	1483,42

Voulume tranché

N° Profil	Pi (m)	H.Talus	V. Talus	Larg TA Lt (m)	Distance (m)	Ei= 2*Pi*M+Lt (m)	Si= (Ei+Lt)*Pi/2 (m2)	Sim= (Si-1+Si)/2 (m2)	Vi = Sim*di (m3)
9	8,39	1	3	3,5	25	9,09	52,83	54,72	1368,03
10	7,66	1	3	3,5	9,26	8,61	46,37	49,60	459,28
11	9,25	1	3	3,5	15,74	9,67	60,90	53,63	844,17
12	9,50	1	3	3,5	25	9,83	63,33	62,11	1552,86
13	9,97	1	3	3,5	19	10,15	68,03	65,68	1247,94
14	10,26	1	3	3,5	10,55	10,34	71,00	69,51	733,37
15	6,89	1	3	3,5	20,45	8,09	39,94	55,47	1134,34
16	7,03	1	3	3,5	25	8,19	41,08	40,51	1012,72
17	2,28	1	3	3,5	25	5,02	9,71	25,40	634,89
18	2,39	1	3	3,5	25	5,09	10,27	9,99	249,77
19	10,66	1	3	3,5	20	10,61	75,19	42,73	854,58
20	10,79	1	3	3,5	5	10,69	76,57	75,88	379,40
21	10,70	1	3	3,5	5	10,63	75,61	114,38	571,90
22	10,72	1	3	3,5	20	10,65	75,83	75,72	1514,39
23	10,45	1	3	3,5	25	10,47	72,98	74,40	1860,02
24	9,61	1	3	3,5	25	9,91	64,42	68,70	1717,44
25	9,59	1	3	3,5	25	9,89	64,22	64,32	1608,00

Voulume tranché

N° Profil	Pi (m)	H.Talus	V. Talus	Larg TA Lt (m)	Distance (m)	Ei= 2*Pi*M+Lt (m)	Si= (Ei+Lt)*Pi/2 (m2)	Sim= (Si-1+Si)/2 (m2)	Vi = Sim*di (m3)
26	9,57	1	3	3,5	5	9,88	64,02	64,12	320,61
27	7,00	1	3	3,5	20	8,17	40,83	52,43	1048,57
28	1,42	1	3	3,5	25	4,45	5,64	23,24	580,94
29	2,05	1	3	3,5	25	4,87	8,58	7,11	177,72
30	2,95	1	3	3,5	25	5,47	13,23	10,90	272,52
31	1,53	1	3	3,5	25	4,52	6,14	9,68	242,01
32	1,05	1	3	3,5	25	4,20	4,04	5,09	127,22
33	0,40	1	3	3,5	25	3,77	1,45	2,75	68,70
34	0,50	1	3	3,5	17,1	3,83	1,83	1,64	28,10
TOTAL					**692,1**				**27 906**

Tableau 29: métré volume filtre

Volume Filtre

N°	CTN	PEN	H	Larg	Larg moy	D Part	Epais sable	Vol sable
			PEN-CTN	l (m)	(l1+l2)/2	(m)	(m)	(m3)
1	305	303,75	-1,25	0,0		0		
2	304,81	303,75	-1,06	0,0	0	25	0	0
3	304,65	303,75	-0,9	0,0	0	25	0	0

Volume Filtre

N°	CTN	PEN	H	Larg	Larg moy	D Part	Epais sable	Vol sable
			PEN-CTN	l (m)	(l1+l2)/2	(m)	(m)	(m3)
4	304,5	303,75	-0,75	0,0	0	25	0	0
5	304,31	303,75	-0,56	0,0	0	25	0	0
6	304,19	303,75	-0,44	0,0	0	25	0	0
7	303,87	303,75	-0,12	0,0	0	25	0	0
8	304,45	303,75	-0,7	0,0	0	25	0	0
9	304,64	303,75	-0,89	0,0	0	25	0	0
10	304,01	303,75	-0,26	0,0	0	9,26	0	0
11	302,99	303,75	0,76	0,0	0	15,74	0	0
12	301,81	303,75	1,94	0,0	0	25	0	0
13	300,85	303,75	2,9	0,0	0	19	0	0
14	300,28	303,75	3,47	8,2	4,12	10,55	0,5	40,05
15	300,93	303,75	2,82	7,3	7,76	20,45	0,5	108,17
16	300,82	303,75	2,93	7,4	7,35	25	0,5	128,55
17	300,84	303,75	2,91	7,4	7,42	25	0,5	129,15
18	301,35	303,75	2,4	6,6	7,02	25	0,5	117,80
19	301,17	303,75	2,58	6,9	6,78	20	0,5	93,57
20	301,28	303,75	2,47	0,0	3,45583	5	0	0
21	301,36	303,75	2,39	0,0	0	5	0	0
22	301,56	303,75	2,19	0,0	0	20	0	0
23	302,3	303,75	1,45	0,0	0	25	0	0
24	302,49	303,75	1,26	0,0	0	25	0	0
25	302,44	303,75	1,31	0,0	0	25	0	0
26	302,43	303,75	1,32	0,0	0	5	0	0
27	302,38	303,75	1,37	0,0	0	20	0	0
28	302,52	303,75	1,23	0,0	0	25	0	0
29	302,89	303,75	0,86	0,0	0	25	0	0
30	303,2	303,75	0,55	0,0	0,0	25,0	0,5	0,0
31	303,44	303,75	0,31	0,0	0,0	25,0	0,5	0,0

Volume Filtre

N°	CTN	PEN	H	Larg	Larg moy	D Part	Epais sable	Vol sable
			PEN-CTN	l (m)	(l1+l2)/2	(m)	(m)	(m3)
32	303,76	303,75	-0,01	0,0	0,0	25,0	0,5	0,0
33	304,34	303,75	-0,59	0,0	0,0	25,0	0,5	0,0
34	305	303,75	-1,25	0,0	0,0	17,1	0,5	0,0
TOTAL						**692,1**		**617,293**

Tableau 30: métré digue

VOLUME DIGUE

N° Profil	**Côte TN (m)**	**Côte crete Di (m)**	**largeur Crête l. (m)**	**Talus Am. m1 (H/V)**	**Talus Av. m2 (H/V)**	**D P di (m)**	**Déc d (m)**	**H Remb arg Di-TN+d (m)**	**Si argile= l*H+H^2*(m1+m2)/2 (m2)**	**Vol argile (Si-1+Si)*di/2 (m3)**
1	305	305	3,5	2,5	2	0	0,2	0	0,00	0,00
2	304,81	305	3,5	2,5	2	25	0,2	0,39	1,71	21,34
3	304,65	305	3,5	2,5	2	25	0,2	0,55	2,61	53,91
4	304,5	305	3,5	2,5	2	25	0,2	0,7	3,55	76,98
5	304,31	305	3,5	2,5	2	25	0,2	0,89	4,90	105,62
6	304,19	305	3,5	2,5	2	25	0,2	1,01	5,83	134,09
7	303,87	305	3,5	2,5	2	25	0,2	1,33	8,64	180,82
8	304,45	305	3,5	2,5	2	25	0,2	0,75	3,89	156,57

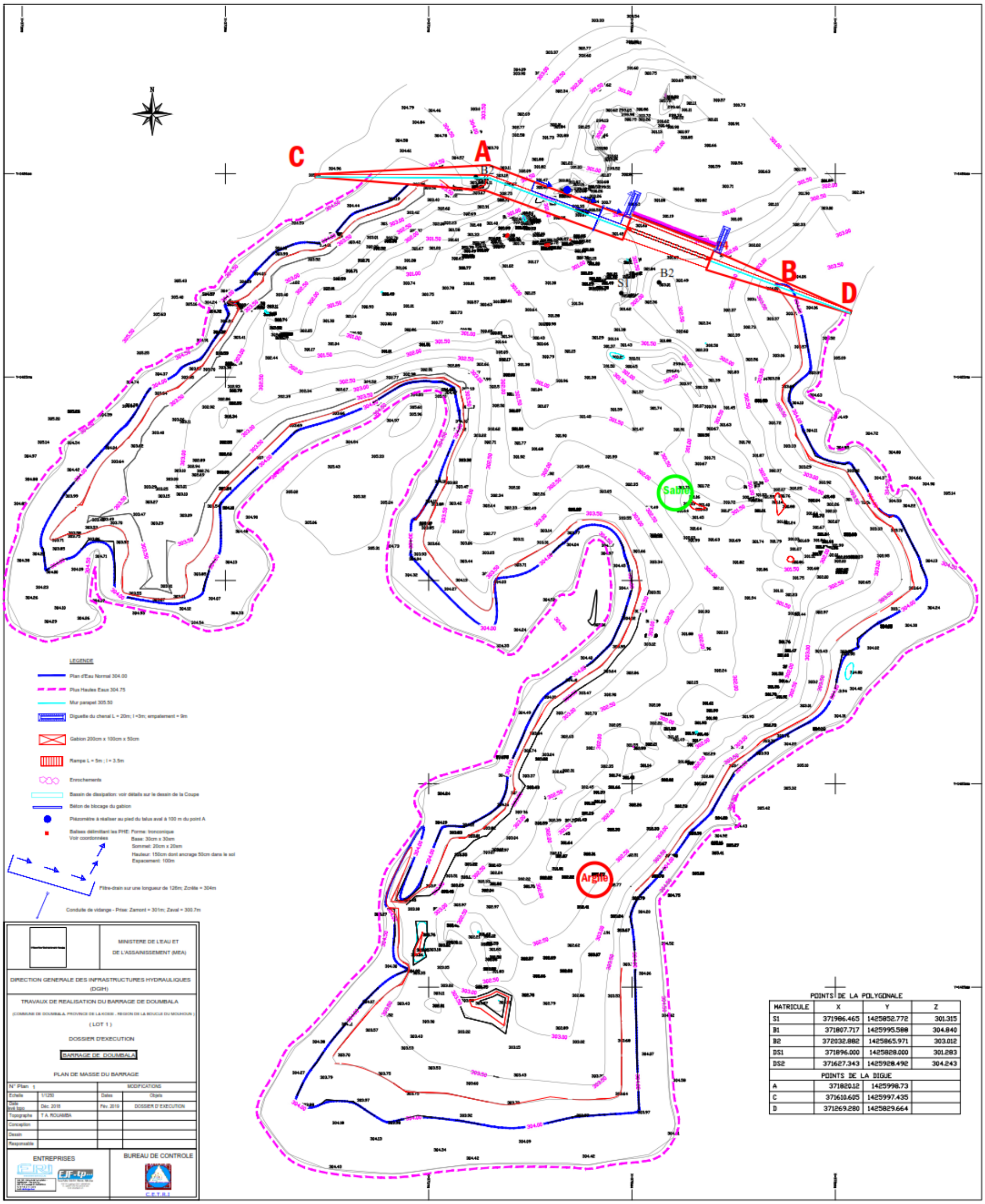
VOLUME DIGUE

N° Profil	Côte TN (m)	Côte crete Di (m)	largeur Crête l. (m)	Talus Am. m1 (H/V)	Talus Av. m2 (H/V)	D P di (m)	Déc d (m)	H Remb arg Di-TN+d (m)	Si argile= l*H+H^2*(m1+m2)/2 (m2)	Vol argile (Si-1+Si)*di/2 (m3)
9	304,64	305	3,5	2,5	2	25	0,2	0,56	2,67	81,95
10	304,01	305	3,5	2,5	2	9,26	0,2	1,19	7,35	46,38
11	302,99	305	3,5	2,5	2	15,74	0,2	2,21	18,72	205,21
12	301,81	305	3,5	2,5	2	25	0,2	3,39	37,72	705,58
13	300,85	305	3,5	2,5	2	19	0,2	4,35	57,80	907,47
14	300,28	305	3,5	2,5	2	10,55	0,2	4,92	71,68	683,03
15	300,93	305	3,5	2,5	2	20,45	0,2	4,27	55,97	1305,26
16	300,82	305	3,5	2,5	2	25	0,2	4,38	58,49	1430,80
17	300,84	305	3,5	2,5	2	25	0,2	4,36	58,03	1456,58
18	301,35	305	3,5	2,5	2	25	0,2	3,85	46,83	1310,72
19	301,17	305	3,5	2,5	2	20	0,2	4,03	50,65	974,73
20	301,28	305	3,5	2	2	5	0,2	3,92	44,45	237,75
21	301,36	305	3,5	2	2	5	0,2	3,84	42,93	218,46
22	301,56	305	3,5	2	2	20	0,2	3,64	39,24	821,70
23	302,3	305	3,5	2	2	25	0,2	2,9	26,97	827,61
24	302,49	305	3,5	2	2	25	0,2	2,71	24,17	639,29
25	302,44	305	3,5	2	2	25	0,2	2,76	24,90	613,35

VOLUME DIGUE

N° Profil	Côte TN (m)	Côte crete Di (m)	largeur Crête l. (m)	Talus Am. m1 (H/V)	Talus Av. m2 (H/V)	D P di (m)	Déc d (m)	H Remb arg Di-TN+d (m)	Si argile= l*H+H^2*(m1+m2)/2 (m2)	Vol argile (Si-1+Si)*di/2 (m3)
26	302,43	305	3,5	2	2	5	0,2	2,77	25,04	124,84
27	302,38	305	3,5	2,5	2	20	0,2	2,82	27,76	528,04
28	302,52	305	3,5	2,5	2	25	0,2	2,68	25,54	666,29
29	302,89	305	3,5	2,5	2	25	0,2	2,31	20,09	570,40
30	303,2	305	3,5	2,5	2	25	0,2	2	16,00	451,14
31	303,44	305	3,5	2,5	2	25	0,2	1,76	13,13	364,12
32	303,76	305	3,5	2,5	2	25	0,2	1,44	9,71	285,44
33	304,34	305	3,5	2,5	2	25	0,2	0,86	4,67	179,75
34	305	305	3,5	2,5	2	17,1	0,2	0,2	0,79	46,72
TOTAL				Ldigue total(m)		**692,1**			V argile compacté (m3)	**16 411,93**
				Ldév (m)		**110**			Vcouronne lat (m3)	**407,47**

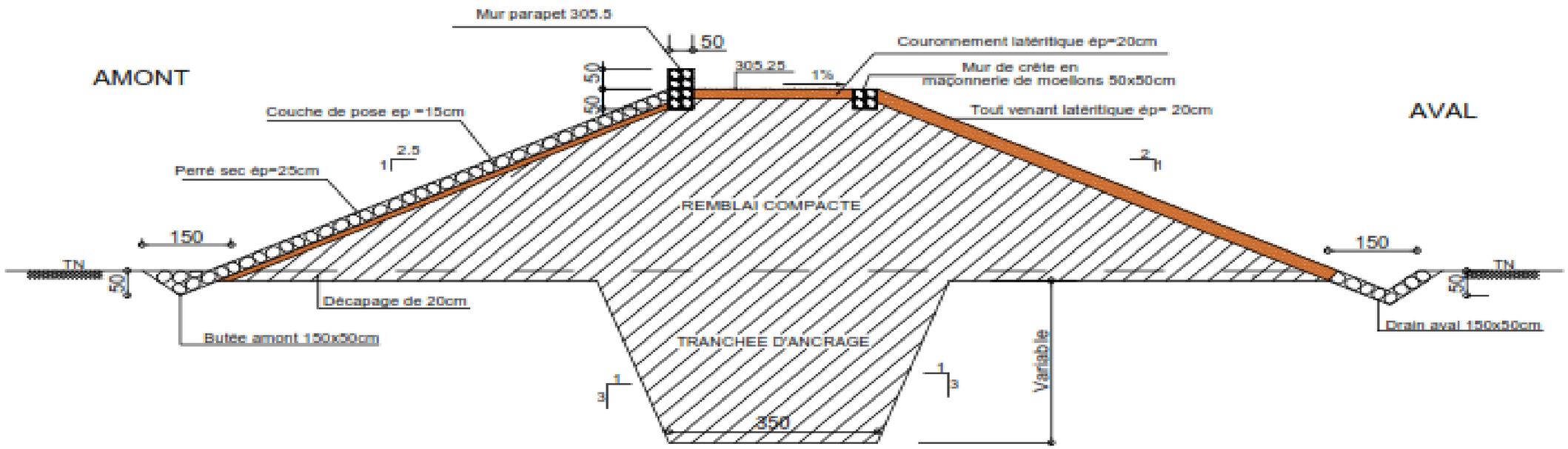
Annexe 15: Plans



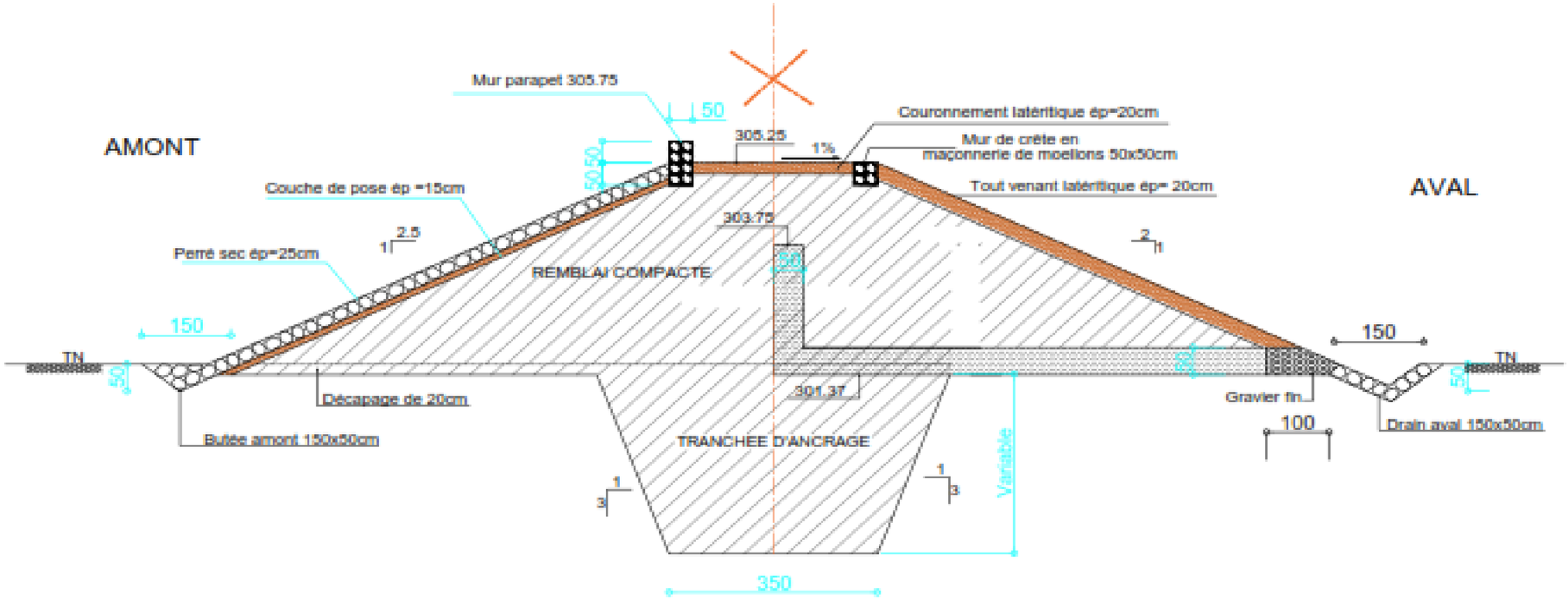
POINTS DE LA POLYGONALE

MATRICULE	X	Y	Z
S1	371986.465	1425852.772	301.315
B1	371807.717	1425995.588	304.840
B2	372032.882	1425865.971	303.012
DS1	371896.000	1425828.000	301.283
DS2	371627.343	1425928.492	304.243
POINTS DE LA DIGUE			
A	371820.12	1425998.73	
C	371610.605	1425997.435	
D	371269.280	1425829.664	

Profil en travers type de la digue

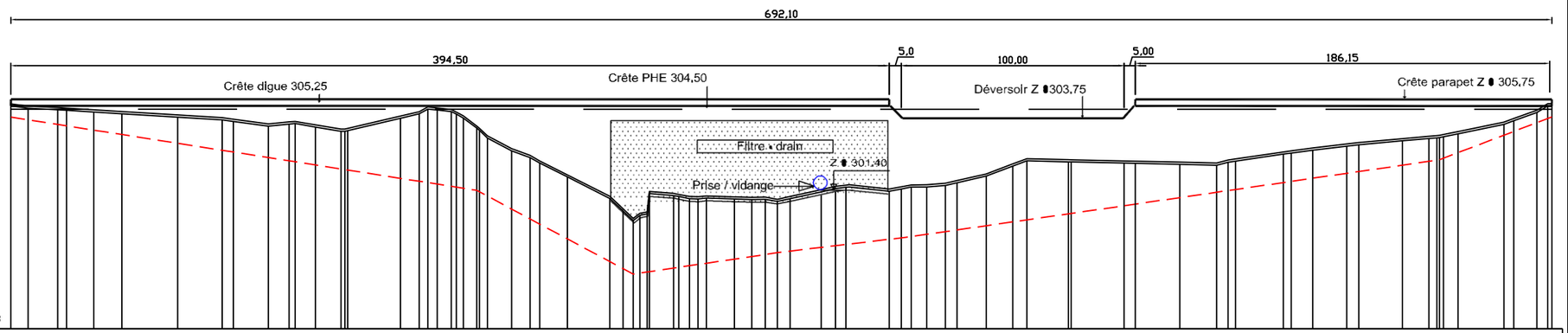


BURKINA FASO MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT (MEA) SECRETARIAT GENERAL DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES	2iE	BUREAU DE CONTROLE C.E.T.R.I	ENTREPRISES ERI BURKINA YAMPA Sidbéwendin Ernest	REALISATION DU BARRAGE DE DOUMBALA DOSSIER D'EXECUTION PROFIL EN TRAVERS DE LA DIGUE (SANS FILTRE)	Date : avril . 2020 ECHELLE :1/75 Plan N° -03



BURKINA FASO MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT (MEA) SECRETARIAT GENERAL DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES	2iE	BUREAU DE CONTROLE C.E.T.R.I	ENTREPRISES ERI BURKINA Sidbéwendin Ernest YAMPA	REALISATION DU BARRAGE DE DOUMBALA DOSSIER D'EXECUTION PROFIL EN TRAVERS DE LA DIGUE (AVEC FILTRE)	Date : avril . 2020 ECHELLE :1/75 Plan N° -04

Profil en long de la digue



Profil en long

Echelle horizontale :1000
Echelle verticale :100
Plan de comparaison : 288

Numéros de profils	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Altitudes T.N.	305.00	304.90	304.83	304.81	304.73	304.65	304.50	304.38	304.31	304.09	304.19	304.21	304.05	303.87	303.87	303.90	304.45	304.65	304.86	304.82	304.75	304.64	304.46	303.91	303.56	302.99	302.69	302.44	301.81	300.85	300.28	300.05	300.05	300.00	300.98	300.84	300.83	300.86	300.82	300.80	300.81	300.71	300.84	301.14	301.29	301.35	301.17	301.28	301.36	301.36	301.43	301.56	301.85	302.30	302.54	302.49	302.48	302.44	302.43	302.38	302.34	302.37	302.32	302.84	302.89	303.02	303.20	303.26	303.44	303.54	303.58	303.62	303.76	304.18	304.34	304.71	305.01	305.00
Distances partielles T.N.		25.00	25.00	25.00	25.00	15.72	9.28	22.32	25.00	12.35	12.65	9.26	15.74	25.00	19.00	4.55	20.13	25.25	3.74	6.62	7.47	8.86	12.02	4.96	9	25.00	20.00	5.00	20.00	25.00	6.36	18.64	25.00	5.00	20.00	16.55	8.45	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	15.19	1.91
Distances cumulées T.N.	0.00	25.00	50.00	75.00	100.00	115.72	125.00	147.32	150.00	175.00	187.35	200.00	209.26	225.00	250.00	269.00	273.55	298.80	302.54	309.16	312.63	321.49	324.96	337.98	346.94	350.00	375.00	394.50	400.00	405.00	425.00	450.00	456.36	475.00	500.00	505.00	525.00	541.55	550.00	575.00	600.00	625.00	650.00	675.00	691.19	692.10
Profondeur ancrage	-1,09	-1,67	-1,37	-1,75	-8,05	-8,12	-9,37	-8,80	-8,39	-7,66	-9,25	-9,50	-9,97	-10,28	-6,89	-7,03	-7,58	-9,08	-10,66	-10,79	-10,7	-10,72	-10,45	-9,61	9,59	-9,57	7,00	-1,42	-2,05	-2,95	-1,53	-1,05	-0,4	-0,50
Alignements droits et courbes	0.00	L = 209.26								209.26	L = 482.84																							692.10

MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT (MEA)

DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES (DGIH)

TRAVAUX DE REALISATION DU BARRAGE DE DOUMBALA

(COMMUNE DE DOUMBALA, PROVINCE DE LA KOSSI , REGION DE LA BOUCLE DU MOUHOUN)

(LOT 1)

DOSSIER D'EXECUTION

BARRAGE DE DOUMBALA

PROFIL EN LONG DE L'AXE DE LA DIGUE DU BARRAGE

N° Plan 2

MODIFICATIONS

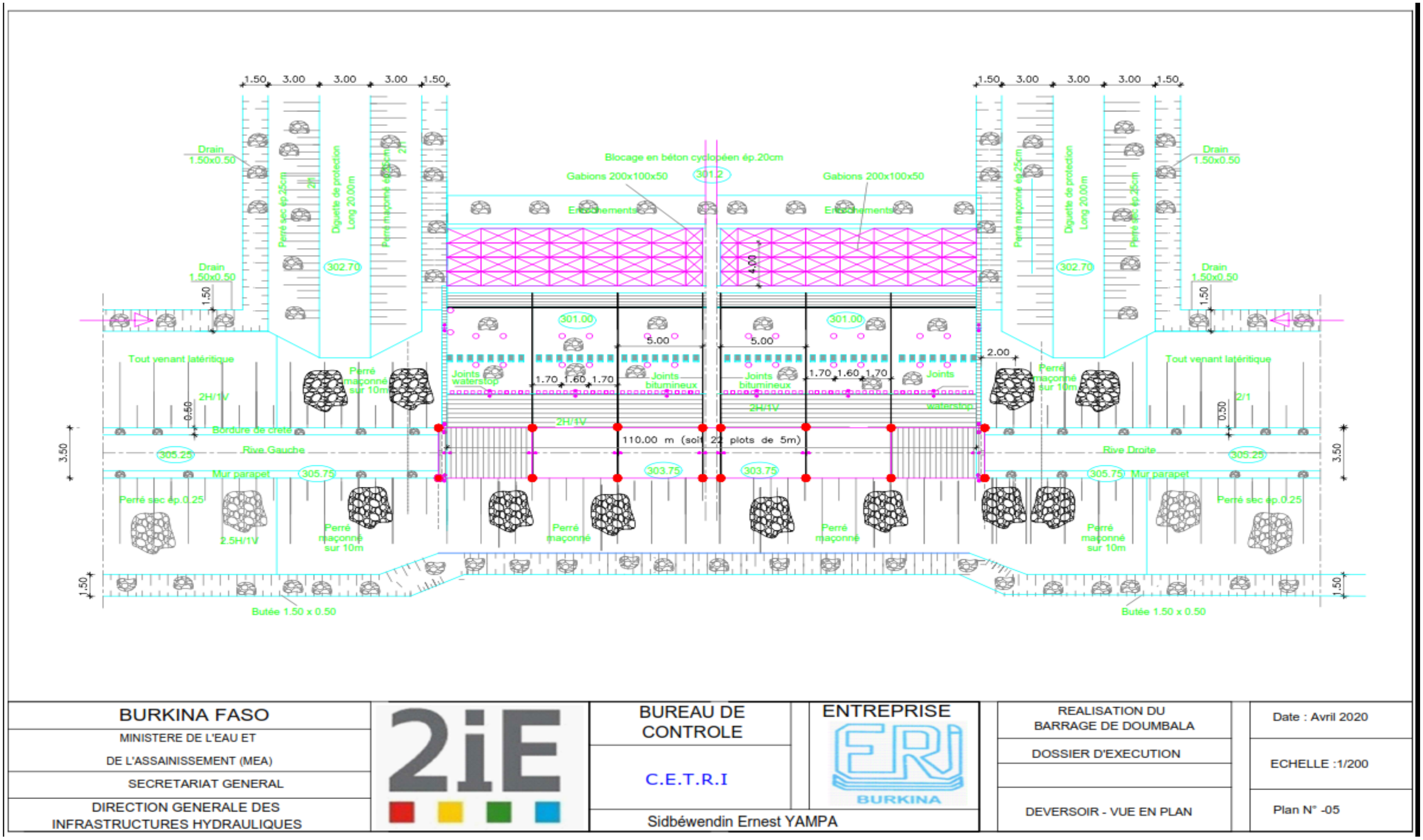
Echelle	1/1000x1/100	Dates	Objets
Date levé topo	Déc. 2018	Avril 2020	DOSSIER D' EXECUTION

BUREAU DE CONTROLE

C.E.T.R.I

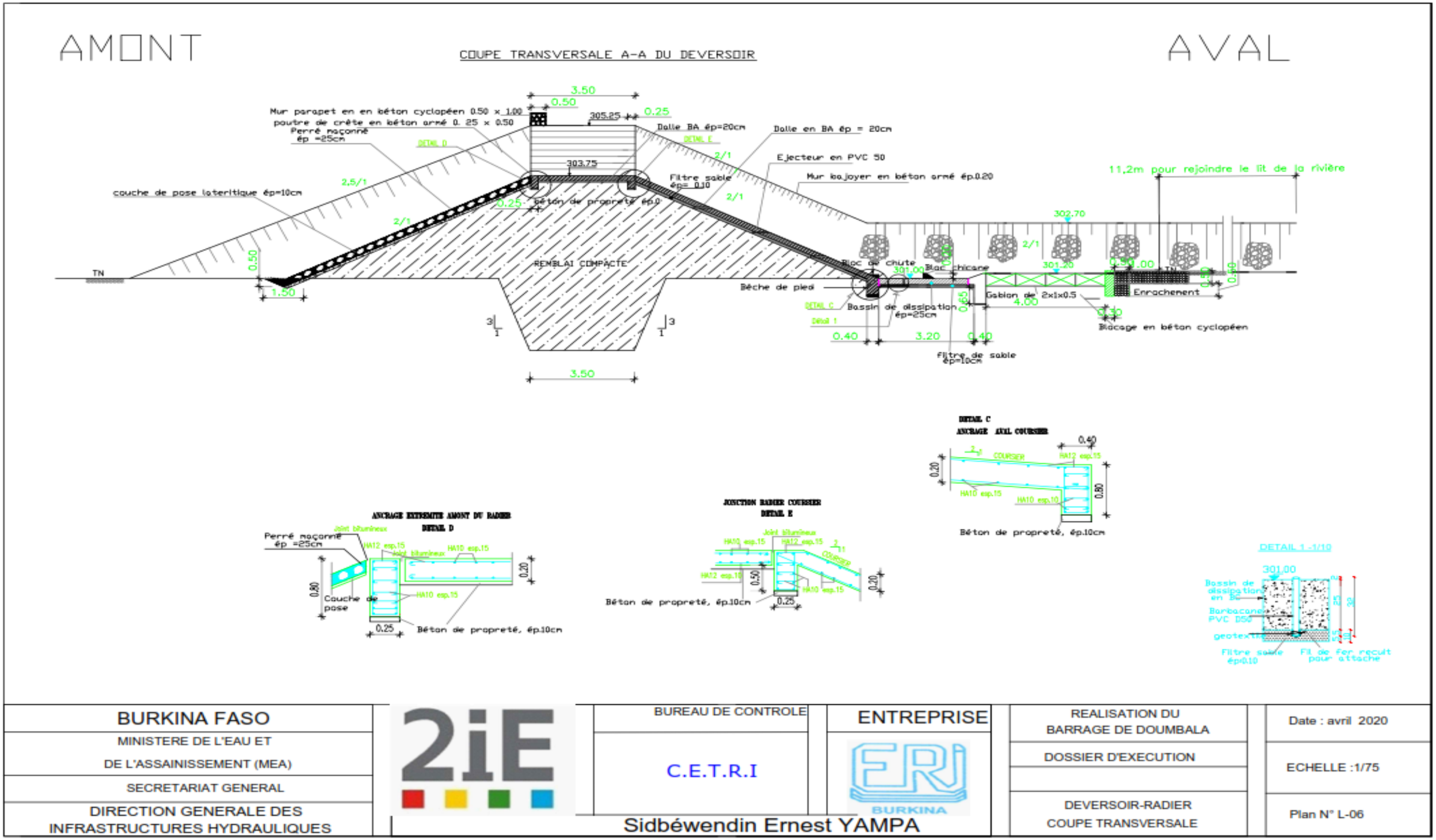
ENTREPRISES

Profil en travers du déversoir



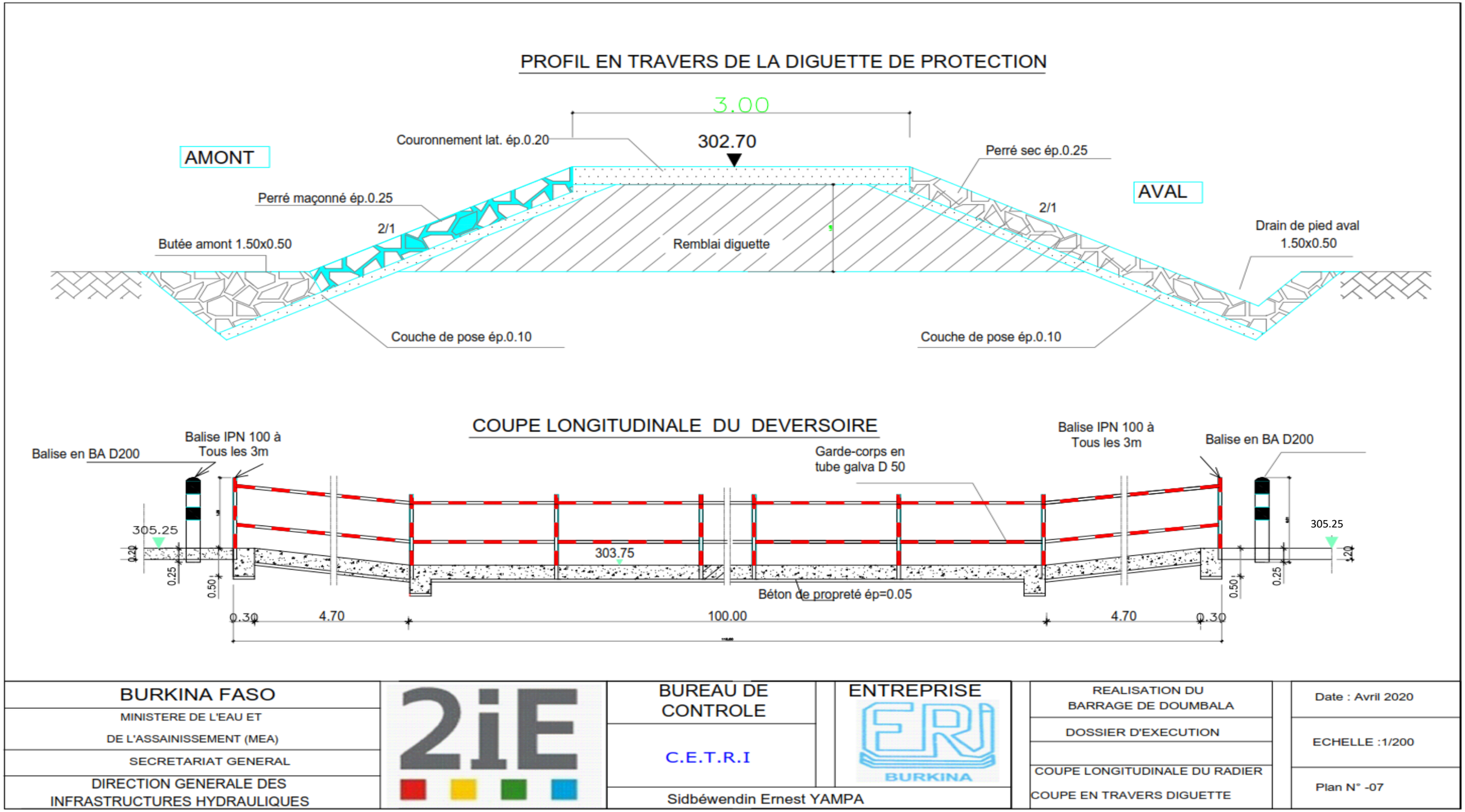
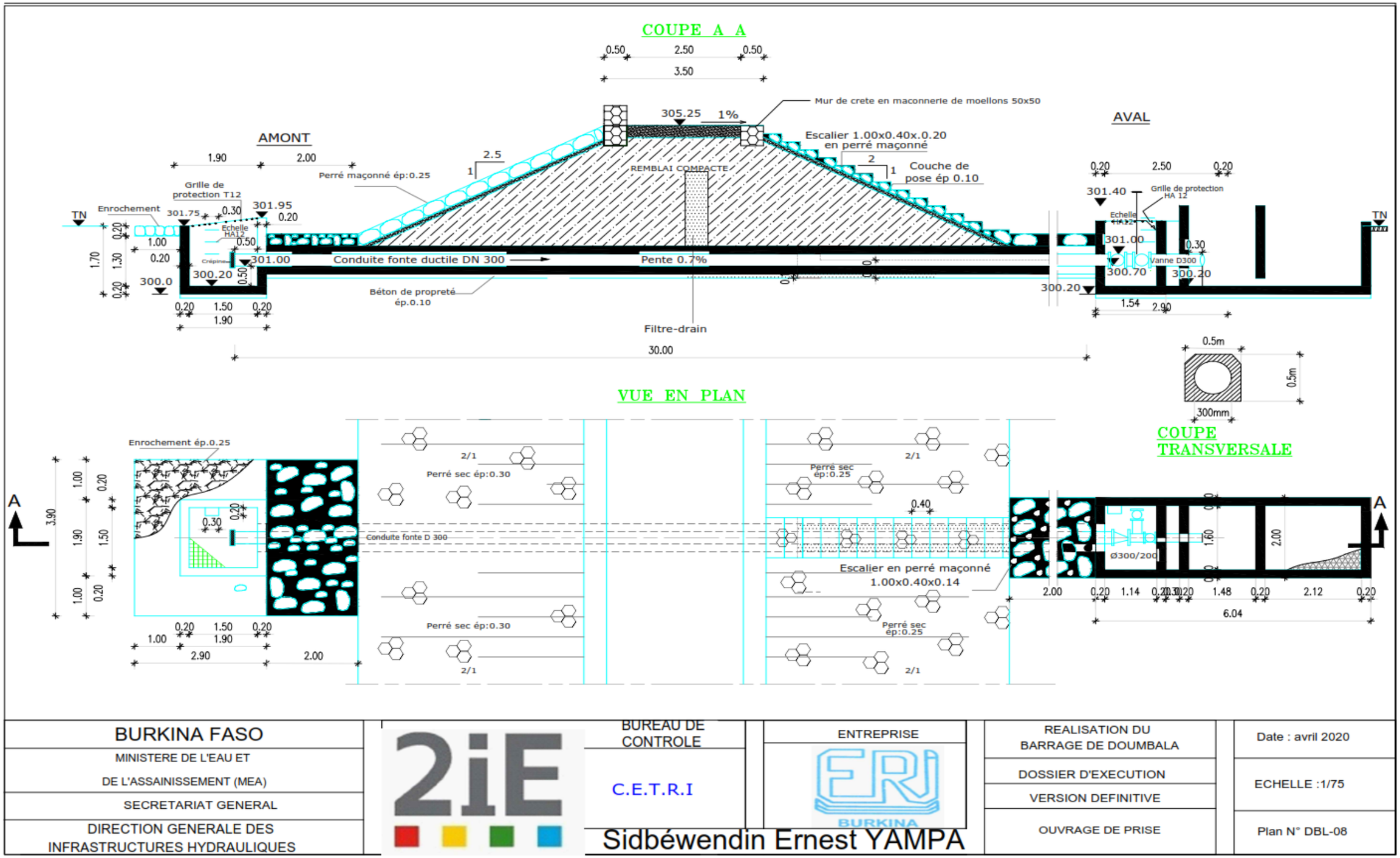
BURKINA FASO	2iE	BUREAU DE CONTROLE	ENTREPRISE	REALISATION DU BARRAGE DE DOUMBALA	Date : Avril 2020
MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT (MEA)		C.E.T.R.I	ERI BURKINA	DOSSIER D'EXECUTION	ECHELLE :1/200
SECRETARIAT GENERAL					
DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES		Sidbéwendin Ernest YAMPA		DEVERSOIR - VUE EN PLAN	Plan N° -05

Coupe en travers du deversoir



BURKINA FASO	2iE	BUREAU DE CONTROLE	ENTREPRISE	REALISATION DU BARRAGE DE DOUMBALA	Date : avril 2020
MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT (MEA)		C.E.T.R.I	ERI BURKINA	DOSSIER D'EXECUTION	ECHELLE :1/75
SECRETARIAT GENERAL					
DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES		Sidbéwendin Ernest YAMPA		DEVERSOIR-RADIER COUPE TRANSVERSALE	Plan N° L-06

Coupe longitudinale du radier et coupe transversale de diguette



Ouvrage de prise