



**ETUDES D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE  
KIOUGOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA  
(BURKINA-FASO)**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT  
OPTION : GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 26 juin 2018 par :

**KUETCHE TALLA Franklin**

**Travaux dirigés par :**

**M. LO Moussa**, Enseignant (Département GCH / 2iE)

**Dr. BIAOU Angelbert**, Enseignant chercheur (Département GCH / 2iE)

**M. CONGO Issaka**, Ingénieur Génie Civil (AC3E).

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Babacar LEYE

Membres et correcteurs: Dr Angelbert BIAOU

M. Césaire HEMA

M. Moussa Diagne FAYE

M. Moussa LO

Promotion [2017/2018]

**DEDICACES :**

A mon cher père et à ma chère mère. Que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières.

### **REMERCIEMENTS :**

J'aimerais présenter ma profonde gratitude aux personnes physiques ou morales qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce document.

Mes remerciements vont tout d'abord à mon directeur de mémoire, Monsieur Moussa LO pour son encadrement, sa disponibilité et son accompagnement durant tout le stage.

Mes remerciements vont au Docteur Angelbert BIAOU pour son encadrement et ses conseils.

J'adresse mes remerciements également à Monsieur Adama OUEDRAOGO, Directeur Général de AC3E pour m'avoir accueillie dans son entreprise pour mon stage.

Issaka CONGO, mon maître de stage pour son encadrement et son suivi régulier tout au long de mon stage.

Je remercie également Monsieur Zakaria BELEM, Directeur Technique de AC3E pour ses précieux conseils.

Je remercie tout le corps professoral de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour la qualité de la formation qui nous a été dispensée durant tout notre cursus ainsi que tout le personnel d'AC3E.

Je remercie tous mes frères, sœurs et amis pour leur aide.

**RESUME :**

La présente étude a été menée dans la commune rurale de Comin-Yanga, en zone soudano-sahélienne burkinabè, plus particulièrement dans le village de Kougiou-Kandaga. Il s'agit d'une région fragile subissant les effets combinés des aléas climatiques et de l'action de l'Homme. Dans l'optique d'un soutien des populations face aux impacts des changements climatiques, le gouvernement burkinabè avec l'appui de partenaires techniques et financiers a initié un important projet de construction et de réhabilitation d'ouvrages à vocation hydro-agricole. C'est dans ce contexte que l'édification du barrage de Kougiou-Kandaga a été retenue en vue d'aménager des périmètres agricoles et de favoriser le développement de l'élevage.

Pour mener cette étude, nous avons élaboré une démarche méthodologique basée essentiellement sur des études hydrologiques, géotechniques et topographiques en vue de quantifier les apports et de dimensionner l'ensemble des éléments constituant cet ouvrage de stockage.

Ce barrage calé à l'exutoire d'un bassin versant d'une superficie de 40,29 km<sup>2</sup> a une capacité d'environ 1 032 230 m<sup>3</sup> et servira essentiellement à irriguer 30 ha de terre et à abreuver 43 060 animaux (gros bétail et petit bétail). C'est une digue homogène à remblai argileux ayant les dimensions suivantes : une longueur de 1,7 km environ et une largeur en crête de 4 m ; la digue est calée à la côte 271 m avec comme hauteur 5 m ; le fruit des talus amont et aval est de  $m = 2$ .

Le déversoir d'une longueur de 105 m occupe une position centrale et permettra d'évacuer un débit centennal de 194 m<sup>3</sup>/s. A l'aval de ce déversoir se trouve un bassin de dissipation à ressaut du type II. Le coût de l'ouvrage est d'environ 635 777 583 FCFA.

**Mots Clés :**

- 1 – Etude Technique
- 2 – Barrage
- 3 – Kougiou-Kandaga
- 4 – Remblai argileux
- 5 - Déversoir

**ABSTRACT :**

The present study has been done in the commune of the Comin-Yanga, more precisely in Kougiou-Kandaga's dam. It's a fragile zone victim of climate hazards and human actions. In the optic of a support to the populations face to the impact of climate variation, the government of Burkina Faso, with technic and financial partners has unbarred on an important project of constructing or rehabilitating the Kougiou-Kandaga's agro-pastoral dam. That's, in this context that the construction of Kougiou-Kandaga's dam has been retained in the view to adjust agricol perimeters, and to favor breeding development.

To do this study, we have developed a methodic approach essentially based on hydraulic studies, geotechnical studies and topographics studies, in the view to quantify contributions and evaluate all elements which constitute this work.

This dam is set at the outlet of a catchment area of five 40,29 square kilometers has a capacity of approximately 1 032 230,8 cubic meters (PEN), and will be used mainly for irrigation of 30 ha of land and for the watering of 43060 animals that graze near the dam. This design of the dam resulting from our studying is as follows:

This is a homogeneous clay embankment dam whose dimensions are: a length of 1,7 km and crest width of 4 m ;the dike is set at the coast 271 m ; the upstream and downstream slopes are 1v/2h.

The weir 105 m long semi occupies a frontal position designed to remove a hundred-year flood flow of about  $194 \text{ m}^3 / \text{s}$ . At the downstream of the weir in a stilling basin projection Type II will be built. The cost of the development has been estimated at about 635 777 583 FCFA including taxes.

**Key words :**

- 1 – Technical Study
- 2 – Dam
- 3 –Kougiou-Kandaga
- 4 – Clayey embankment
- 5 – Overfall

**LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES :**

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

**AC3E** : Agence Conseil pour l'Equipement, l'Eau et l'Environnement

**BUNED** : Le Bureau National des évaluations Environnementales et de gestion des Déchets spéciaux.

**CIEH** : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

**CS** : Contrôle Sanitaire

**DAO** : Dossier d'Appel d'Offre

**Dd** : Densité de Drainage

**Ds** : Densité Spécifique

**EIER** : Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

**IP** : Irrigation de Proximité

**MAH** : Ministère de l'Agriculture et l'Hydraulique

**MDC** : Mission de Contrôle

**NIE** : Notice d'Impact Environnemental

**OPN** : Optimum Proctor Normal.

**ORSTOM** : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

**PEN** : Plan d'Eau Normal

**PHE** : Plus Haute Eau

**PGES** : Plan de Gestion Environnemental et Social

**RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

**TE** : Temps d'Envasement

**UBT** : Unité de Bétail Tropical

**USCS** : Unified Soil Classification System

**LISTE DES TABLEAUX :**

Tableau 1: Localisation des villages concernés par l'aménagement.....	5
Tableau 2 : Ethnies rencontrées dans le village de KIOUGOU- KANDAGA .....	5
Tableau 3 : Pentas de talus en fonction de la hauteur du barrage.....	16
Tableau 4 : Principales activités menées par la population de KIOUGOU- KANDAGA.....	25
Tableau 5 : Cheptel moyen des ménages enquêtés .....	26
Tableau 6: Résultats des essais sur échantillon d'argile .....	27
Tableau 7 : Résultat des essais de sédimentométrie .....	28
Tableau 8 : Résultats des essais sur sable.....	28
Tableau 9 : Caractéristiques du bassin versant de Kiougou-Kandaga .....	29
Tableau 10 : Pluie moyenne annuelle.....	30
Tableau 11 : Ajustement par la loi de Gauss (pluies annuelles) .....	30
Tableau 12 : Ajustement par la loi de Gumbel (pluies maximales journalières.....	31
Tableau 13 : Débit du projet.....	31
Tableau 14 : Estimation du volume des apports.....	32
Tableau 15 : Vérification du remplissage de la retenue en année quinquennale sèche et décennale sèche.....	32
Tableau 16 : Besoins agricoles .....	35
Tableau 17 : Besoins pastoraux .....	36
Tableau 18 : Hypothèses de simulation et estimation des besoins .....	33
Tableau 19 : Pertes par infiltration .....	34
Tableau 20 : Pertes par évaporation de KIOUGOU-KANDAGA .....	34
Tableau 21 : Tableau de simulation de la retenue pour courbe d'exploitation .....	35
Tableau 22 : Caractéristiques du chenal d'évacuation .....	41
Tableau 23 : Caractéristiques du bassin à ressaut .....	41
Tableau 24 : Caractéristiques des blocs chicanes.....	42
Tableau 25 : Caractéristiques du mur bajoyer .....	43
Tableau 26 : Caractéristiques des diguettes de protection .....	44
Tableau 27 : Vérification de la stabilité du déversoir .....	45
Tableau 28 : Caractéristiques de l'ouvrage de vidange.....	46
Tableau 29 : Pentas transversales .....	53
Tableau 30 : Caractéristiques du bassin versant.....	55
Tableau 31 : Pluie moyenne annuelles .....	56
Tableau 32 : Ajustement des pluies moyennes annuelles .....	57
Tableau 33 : Ajustement des pluies journalières maximales .....	57
Tableau 34 : Détermination du $K_{r70}$ .....	58
Tableau 35 : Détermination du $K_{r100}$ .....	59
Tableau 36 : Détermination du temps de base .....	59
Tableau 37 : Temps de base .....	59
Tableau 38 : Détermination de la crue décennale par ORSTOM.....	60
Tableau 39 : Détermination de la crue décennale par CIEH .....	61
Tableau 40 : Tableau des côtes et volumes cumulés.....	64
Tableau 41 : Besoins agricoles de Kiougou –Kandaga.....	67
Tableau 42 : Besoins pastoraux de Kiougou-Kandaga .....	68
Tableau 43 : besoins domestiques .....	69

Tableau 44 : Estimation des besoins et Hypothèses de simulation de la retenue de Kiougou-Kandaga.....	70
Tableau 45 : Pertes par infiltration de Kiougou-Kandaga.....	71
Tableau 46 : Pertes par évaporation de Kiougou –Kandaga .....	71
Tableau 47 : Récapitulatif des pertes et des besoins .....	73
Tableau 48 : Méthode du point $X_0$ --- Longueur du déversoir en (m) .....	86
Tableau 49 : Détermination du tirant d'eau maximal par itération .....	87
Tableau 50 : Paramètres de calcul de l'enfoncement du bassin .....	89
Tableau 51 : Détermination de $Y_1$ .....	90
Tableau 52: Longueur du bassin de dissipation .....	92
Tableau 53 : Paramètres des blocs chicanes.....	93
Tableau 54: Paramètres des blocs de chute .....	93
Tableau 55: Paramètres du seuil terminal .....	93
Tableau 56 : Stabilité du déversoir aux PHE .....	98
Tableau 57 : Stabilité du déversoir au PEN .....	99
Tableau 58 : Grille d'évaluation des impacts environnementaux .....	102
Tableau 59 : Plan de mise en œuvre des mesures d'atténuation.....	103
Tableau 60 : Plan des suivis environnementaux et sociaux du projet.....	106
Tableau 61 : Evaluation du cout de PGES .....	108

**LISTE DES FIGURES :**

Figure 1: Localisation du site .....	4
Figure 2: Courbe hauteur –surface .....	33
Figure 3: Courbe hauteur –volume.....	33
Figure 4: Courbe exploitation de la retenue .....	36
Figure 5: Cercle de glissement le plus défavorable généré avec GEOSLOPE .....	37
Figure 6: Coupe transversale du mur bajoyer .....	43
Figure 7: Ouvrage de vidange .....	47
Figure 8: Courbe hypsométrique.....	54
Figure 9: Tranchée d’ancrage.....	77
Figure 10: Tracé de la ligne de saturation et la parabole de KOZENY .....	79
Figure 11: Evacuateur muni d’un bassin à ressaut .....	88
Figure 12 :Détermination de l’enfoncement du bassin de dissipation .....	89
Figure 13: Bassin de type 2 .....	92
Figure 14: Abaque de détermination du diamètre de l’enrochement. ....	94
Figure 15: Bilan des forces sur le déversoir .....	97

**TABLE DES MATIERES :**

DEDICACES :	I
REMERCIEMENTS :	II
RESUME :	III
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES :	V
LISTE DES TABLEAUX :	VI
TABLE DES MATIERES :	IX
1.INTRODUCTION GENERALE.....	1
1.1. Contexte et problématique.....	1
1.2. Objectifs du stage :.....	3
1.2.1. Objectif général :.....	3
1.2.2. Objectifs spécifiques :.....	3
1.3. Présentation générale de la zone du projet :.....	3
1.3.1. Localisation du site et accessibilité :.....	3
1.3.2. Données sociodémographique :.....	4
1.3.3. Climat, sols et végétation :.....	6
1.3.4. Hydrographie :.....	6
1.3.5. Faune :.....	6
2. MATERIELS ET METHODES :.....	7
2.1. Matériels :.....	7
2.2. Méthodes :.....	7
2.2.1. Etudes hydrologiques :.....	7
2.2.1.1. Caractéristiques physiques et géomorphologiques :.....	7
2.2.1.2. Analyses fréquentielles des pluies :.....	9
2.2.1.3. Prédétermination de la crue du projet :.....	9
2.2.1.4. Etude des apports :.....	11
2.2.2. Etudes hydrauliques et Dimensionnement du barrage :.....	12
2.2.2.1.Etude de la retenue :.....	12
2.2.2.2. Etude de la digue et des ouvrages annexes :.....	14
3. RESULTATS ET DISCUSSIONS :.....	25
3.1. Synthèse des études de bases :.....	25
3.1.1. Les Activités de production agricole :.....	25
3.1.2. Elevage :.....	25
3.1.3. Les Infrastructures socio-économiques communautaires :.....	26
3.1.4. Études topographiques :.....	26

3.1.5. Études géotechniques et pédologiques :.....	27
3.1.6. Etude hydrologique :.....	29
3.1.6.1. Caractéristiques physiques et morphologique du bassin versant :.....	29
3.1.6.2. Analyses fréquentielles des pluies :.....	30
3.1.6.3. Prédétermination de la crue du projet :.....	31
3.1.6.4. Etude des apports :.....	32
3.2. Etudes hydrauliques et dimensionnements du barrage :.....	32
3.2.1. Etude de la retenue :.....	32
3.2.2. Etude de la digue et des ouvrages annexes :.....	36
4. AVANT-METRE ET COUT DES TRAVAUX :.....	47
5. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL (NIE) :.....	47
5.1. Impacts positifs :.....	47
5.2. Impacts négatifs :.....	48
5.3. Composantes du Plan de gestion Environnemental et Social :.....	48
6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS :.....	49
7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :.....	49
8. ANNEXES.....	50

**FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA**

<b>I. LOCALISATION</b>		
Commune	Kougiou- Kandaga	
Province	KOULPELOGO	
Région	Centre - Est	
Coordonnées	Latitude : 0°05'26,40" Est Longitude : 11°48'02,50" Nord	
Désignations	Unités	Caractéristiques
Durée de retour souhaitée	Année	30
<b>II. BASSIN VERSANT</b>		
Superficie	km <sup>2</sup>	40,29
Périmètre	km	35,68
Débit de projet	m <sup>3</sup> /s	194
Pluie annuelle moyenne	mm	806,57
Pluie journalière décennale humide	mm	96,59
Pluie journalière centennale humide	mm	136,33
Apports en année quinquennale sèche	m <sup>3</sup>	652 593
Apports en année moyenne	m <sup>3</sup>	5 504 172
<b>III. CUVETTE</b>		
Côte PHE	m	269
Côte PEN	m	267,65
Volume d'eau au PHE	m <sup>3</sup>	2 517 063
Volume d'eau au PEN	m <sup>3</sup>	1 032 231
Superficie du PHE	m <sup>2</sup>	1 373 975
Superficie du PEN	m <sup>2</sup>	834 801
<b>IV. DIGUE</b>		
Type	-	Homogène en argile
Côte de calage de crête	m	271
Hauteur maximale par rapport au lit mineur	m	5

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOGUIOU-KANDAGA,  
COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA –FASO).

Largeur en crête	m	4
Longueur digue	m	1700
Pente du talus amont = Pente du talus aval	-	1V/2H
<b>V. EVACUATEUR DE CRUE</b>		
Nombre	-	01
Position	-	Centrale
Cote de calage	m	267,65
Hauteur maximale	m	3,15
Type	-	Déversoir poids trapézoïdale
Longueur totale	m	105
Largeur en crête	m	4,5
Type bassin de dissipation	-	A Ressaut Type II
Longueur bassin	m	5
Largeur bassin	m	4,5
<b>VI. OUVRAGE DE PRISE</b>		
Position	-	Rive droite et gauche
Type de commande	-	Vane aval
Nature de la conduite	-	Conduite en fonte
Diamètre de la conduite	mm	Ø 500
Temps de vidange		Approximativement 2 jours
Superficie exploitable	ha	30 ha, soit 20 ha en riziculture pluviale et 10 ha en cultures maraichères.
<b>VII. COUT DES TRAVAUX</b>	FCFA	<b>635 777 583 TTC</b>

## 1. INTRODUCTION GENERALE :

### 1.1.Contexte et problématique :

Disposer d'eau en quantité suffisante demeure une préoccupation en Afrique de l'Ouest et plus particulièrement dans les pays sahéliens. En effet, l'action conjuguée de plusieurs contribue fortement à cette contrariété : aléas climatiques, démographie galopante, mauvaises stratégies de gouvernance, etc.

Au Burkina Faso, cette préoccupation constitue un véritable frein au développement, sous toutes ses formes, surtout lorsque l'on sait que l'activité économique principale est l'agriculture (emploi 84,1 % de la population active). Afin d'atteindre les objectifs en matière de sécurité alimentaire, le gouvernement Burkinabè avec l'appui de ses partenaires œuvre à la réalisation de petits barrages et retenues d'eau avec périmètres aménagés en aval. Par la suite, la production agricole qui se développe autour de ces ouvrages attire de la main d'œuvre et des investisseurs, fixe les autochtones dans leur terroir et contribue de manière significative à la réduction de la pauvreté en milieu rural .

C'est dans cette vision que le Ministère en charge de l'eau et de l'assainissement a entrepris diverses actions d'accompagnement des communautés de son ressort territorial. Les principaux objectifs visés sont, à long terme: le désenclavement, la construction de retenues d'eau, l'aménagement de périmètres irrigués, de bas-fonds et la construction d'infrastructures. L'un des projets d'études ainsi initié, portant sur la réalisation d'un barrage et d'un aménagement, a été conduit pour la commune rurale de KOUGIOU – KANDAKA. Le potentiel en termes de stockage du site retenu est de 1 032 000 m<sup>3</sup> et devra permettre aux localités avoisinantes de conduire en continu la production agro-pastorale, ainsi que des activités de contre-saison. L'étude technique sera réalisée en amont par le bureau d'étude AC3E, structure qui nous a accueillis pendant la période de stage. La présente étude qui fait office de mémoire de fin d'étude est menée dans le cadre du programme : « construction ou reconstruction de retenues d'eau dans les régions du Centre Est (dans la province du Koulpélogo), du Centre Sud (dans les provinces du Zoundwéogo et du Bazéga) » du ministère en charge de l'eau et de l'assainissement.

Cette étude intitulée : « **ETUDES D'AVANT-PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KIOUGOU-KANDAGA DANS LA COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA-FASO)** », aura comme toile de fond l'étude de faisabilité d'un projet agro-pastoral.

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KIOUGOU-KANDAGA,  
COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA –FASO)

---

Cet avant-projet détaillé a d'abord consisté à l'identification du site, ensuite ont suivi les études préliminaires : étude socio-économiques, géotechniques, études topographiques et études pédologiques. Il a ensuite été proposé un barrage et une solution d'aménagement du périmètre aval, puis le dimensionnement précis des ouvrages et l'estimation du coût global du projet.

## **1.2. Objectifs du stage :**

### **1.2.1. Objectif général :**

Le projet du barrage de KIOUGOU-KANDAGA est né sous l'impulsion du ministère en charge de l'eau et de l'assainissement, dans la dynamique des actions qu'il a entrepris pour le développement rural des zones sous son ressort.

Il est cependant important de préciser que ce projet est constitué de deux composantes : **la construction d'un barrage de retenue d'eau d'environ 1 000 000 m<sup>3</sup>** comme la première composante principale, **l'aménagement du périmètre irrigué** la seconde composante. Notre étude a porté essentiellement sur la première composante, celle qui a fait l'objet de la passation de marché nous concernant.

L'étude technique, sera réalisée en amont par le bureau d'étude **AC3E** et permettra d'aboutir à un Avant-Projet détaillé. Notre objectif premier, en tant que stagiaire a été de faire l'étude de conception et dimensionnement du barrage.

### **1.2.2. Objectifs spécifiques :**

Les objectifs spécifiques, qui renvoient par la même occasion à l'ensemble des tâches qui ont constitué notre apport personnel à ce projet, sont les suivants :

- Effectuer une étude hydrologique et définir la crue de projet ;
- Produire une synthèse des études de base, en mettant en relief les paramètres qui serviront à la conception et au dimensionnement de l'ouvrage ;
- Effectuer une estimation du cout du projet ;
- Faire une étude d'impact environnemental et social.

## **1.3. Présentation générale de la zone du projet :**

### **1.3.1. Localisation du site et accessibilité :**

Les Coordonnées géographiques du site relevées au GPS sont les suivants:

Longitude: 11°48'02,50"Nord, Latitude: 0°05'26,40" Est.

La zone d'étude est située dans la commune de Comin-Yanga , province de Koulpelogo, région du Centre -Est. Précisément dans le village de Kiougou-Kandaga , comme le montre la carte ci-dessous :

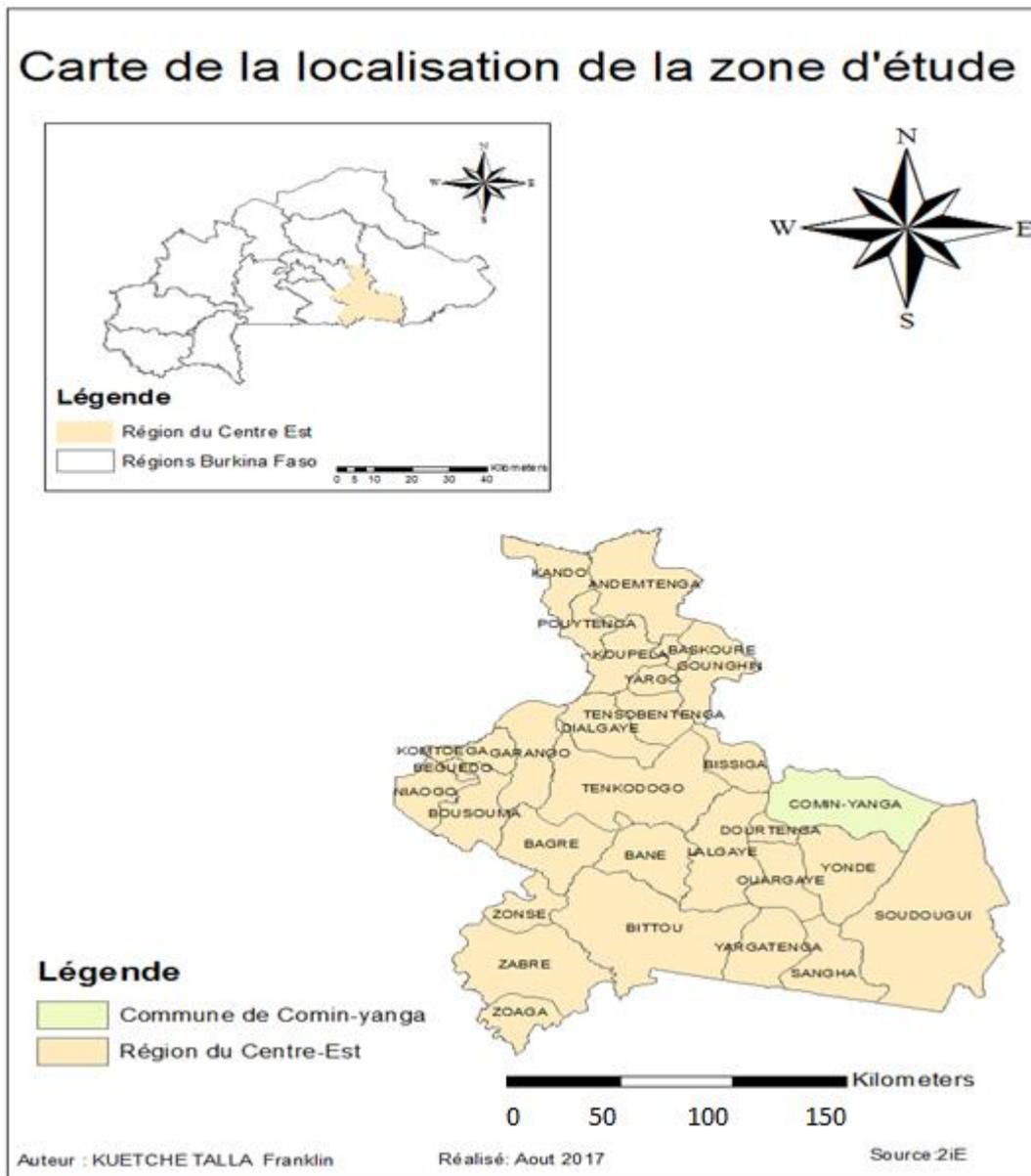


Figure 1 : Localisation du site

### 1.3.2. Données sociodémographique :

Les études socio-économiques relevées sur la zone du projet révèlent :

#### Villages concernés par le projet :

Selon les informations collectées avec les participants à l'assemblée des représentants de la communauté, la zone du projet est constituée par l'ensemble des villages susceptibles d'utiliser le barrage et le périmètre irrigué après leur réalisation. La zone d'influence diffuse du projet

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA,  
COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA –FASO).

couvre neuf (09) villages y compris le village récepteur qui est Kiougou -Kandaga. Aussi, pour estimer la population bénéficiaire ainsi définie, il a été utilisé les données du recensement général de la population du Burkina Faso réalisé en 2006 (RGPH, 2006).

*Tableau 1: Localisation des villages concernés par l'aménagement*

N°	village	Commune concernée	Province	Région	Distance au site en km
1	Kiougou Kandaga	Comin Yanga	Koulpélogo	Centre Est	0
2	Kakati	Comin Yanga	Koulpélogo	Centre Est	2
3	Atoko	Comin Yanga	Koulpélogo	Centre Est	5
4	Sakango	Comin Yanga	Koulpélogo	Centre Est	6
5	Baghinga	Comin Yanga	Koulpélogo	Centre Est	5
6	Konziogo Sambila	Comin Yanga	Koulpélogo	Centre Est	8
7	Youtanga	Comin Yanga	Koulpélogo	Centre Est	8
8	Kombembgo	Comin Yanga	Koulpélogo	Centre Est	5
9	Bangoghin	Comin Yanga	Koulpélogo	Centre Est	5
<b>Tot.</b>	<b>9 villages</b>	<b>1 commune</b>	<b>1 province</b>	<b>1 région</b>	<b>Rayon maximale 8 km</b>

*Source : Enquêtes village Kiougou - Kandaga, Bureaux d'Etudes AC3E / GERTEC, Août 2017.*

**Population totale et répartition selon le sexe :**

Les entités constituant la zone du projet comptaient 8 895 habitants en 2006 avec 4 354 hommes et 4 541 femmes. L'extrapolation au taux d'accroissement de la population dans la zone du projet est de 3,80% dans l'intervalle de temps compris entre 1996 et 2006. Nous obtenons une population de **13 407 habitants** pour l'année 2017.

*Tableau 2 : Ethnies rencontrées dans le village de KIOUGOU KANDAGA*

N°	Ethnies	Fréquences estimées
1	Zaose	30%
2	Yana	40%
3	Mossi	10%
4	Gourmanché	5%
5	Peulh	15%

*Source : Assemblée Générale KIOUGOU KANDAGA, bureaux d'études AC3E/GERTEC, août 2017.*

### 1.3.3. Climat, sols et végétation :

La zone du projet se situe dans le domaine climatique soudano - sahélien marqué par deux saisons bien distinctes dans l'année. La saison sèche dure 7 mois et va du mois de novembre à mai ou même juin et une saison pluvieuse de mai ou juin à octobre. Pour la période allant de 2013 à 2016 soit une période de quatre (04) ans, la hauteur moyenne d'eau enregistrée a été de 727 mm.

Les différents types de sols que l'on rencontre dans la zone circonscrite par le présent projet sont : Les sols minéraux bruts, les sols peu évolués d'origine non climatique associés aux lithosols sur cuirasse ferrugineuse et sur des matériaux gravillonnaires, les sols hydromorphes appartenant au groupe des pseudogley d'ensemble associés aux sols peu évolués.

La végétation est plus ou moins importante et se compose pour l'ensemble des sites d'espèce hydrophyles dont le plus importantes sont *Anogeissus leiocarpus*, *Danielia oliveri*, *Diospyros mespiliformis*, *Mitragyna inermis* et *Piliostigma thonningii*.

### 1.3.4. Hydrographie :

Le réseau hydrographique du village de KIOUGOU KANDAGA se caractérise essentiellement par la présence de deux (02) bas-fonds qui sont :

- le bas fond appelé **KIMOULI** : il vient de Kombembgo, traverse le village de Kiougou Kandaga, et continue sa course vers Koukati ;
- le bas fond appelé Pognanga qui quitte le terroir de Tampougogo, rejoint le cours d'eau ;

### 1.3.5. Faune :

La faune de la zone du projet est principalement composée de petit gibier. Les espèces que l'on trouve sont le porc-épic, les rats voleurs, des pintades sauvages, des lièvres, des hérissons. La grande faune a presque disparu à cause des activités agro-pastorales.

## 2. MATERIELS ET METHODES :

### 2.1. Matériels :

Le matériel que nous avons utilisé dans le cadre de notre travail est défini comme suit :

- **Un GPS** pour relever les coordonnées des points importants sur le site ;
- **Google Earth et Global Mapper V.16** pour la délimitation du bassin versant ;
- **Le logiciel Arcgis** pour l'élaboration des différentes cartes ;
- **Le logiciel Hydrolab** pour la vérification des traitements statistiques ;
- **Le logiciel CROPWAT 8.0 de la FAO** pour la détermination des besoins en eau des cultures ;
- **Le logiciel CYPE** pour le dimensionnement des murs bajoyers ;
- **Le logiciel Géoslope v12** pour la vérification de la stabilité des talus de la digue.

### 2.2. Méthodes :

#### 2.2.1. Etudes hydrologiques :

##### 2.2.1.1. Caractéristiques physiques et géomorphologiques :

➤ **Périmètre (P) et surface (S) du bassin versant** : ces deux paramètres du bassin ont été estimés grâce au logiciel Global Mapper à travers le modèle numérique du terrain.

➤ **Indice de forme ou de compacité ( $K_G$ ) du bassin versant** : Il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie et permet de comparer entre eux les bassins de superficie identique. Le coefficient de compacité de GRAVELIUS est exprimé à partir de l'équation 1 :

$K_G = 0,282 * P * S^{-0.5} \quad (1)$	S = superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> ) P = périmètre (Km) K <sub>G</sub> = Indice de compacité (m)
--	---

➤ **Rectangle équivalent** : C'est le rectangle ayant même surface et même périmètre que le bassin versant, sa longueur, ainsi que sa largeur sont données par les équations 2 et 3 :

$L_{eq} = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4} \quad (2)$ $l_{eq} = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16S}}{4} \quad (3)$	<p>S = superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)</p> <p>P = périmètre (Km)</p> <p>L<sub>eq</sub> = longueur du rectangle équivalent (Km)</p> <p>l<sub>eq</sub> = largeur du rectangle équivalent (Km)</p>
---	---

➤ **Densité de drainage :** La densité de drainage est le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la surface du bassin versant. Elle est obtenue avec l'équation 4 :

$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \quad (4)$	<p>S = superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)</p> <p>L<sub>i</sub> = Longueur totale des cours d'eau (Km)</p>
--------------------------------------	--

➤ **Pente transversale moyenne :** Elle est déterminée en faisant la moyenne de quatre à six pentes transversales.

➤ **Répartition hypsométrique :** La courbe hypsométrique du bassin versant donnant le pourcentage de la superficie S du bassin versant située au-dessus d'une altitude donnée H, celle-ci permettra de déterminer Indice global de pente (I<sub>g</sub>).

➤ **Indice global de pente (I<sub>g</sub>) :** Il est l'indice qui caractérise le relief du bassin et est défini par l'équation 5 :

$I_g = \frac{D}{L} \quad (5)$	<p>D = Dénivelée séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface</p> <p>L = Longueur du rectangle équivalent (Km)</p> <p>I<sub>g</sub> = Indice global de pente (m/Km)</p>
-------------------------------	---

➤ **Indice global de pente corrigé (I<sub>gCorr</sub>) :** La pente transversale est trop différente de la pente longitudinale, on calcule alors un Indice global de pente corrigé (I<sub>gCorr</sub>). Il est donné par l'équation 6 :

$I_{gcorr} = \frac{[(n-1) * I_g + I_t]}{n} \quad (6)$	<p>n = Coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent</p> <p>I<sub>g</sub> = Indice global de pente (m/Km)</p> <p>I<sub>t</sub> = Pente transversale (m/Km)</p>
---	--

### 2.2.1.2. Analyses fréquentielles des pluies :

Les analyses fréquentielles des pluies ont été faites grâce aux données pluviométriques recueillies à la station de Tenkodogo. Les pluies moyennes annuelles : 1970 – 2016 (46 valeurs) ont été ajustées à partir de la loi de Gauss dont la fonction de répartition est décrite par l'équation suivante :

$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (7)$ <p style="text-align: center;">avec <math>u = \frac{x-\bar{x}}{s}</math></p>	u=la variante réduite $\bar{x}$ =la moyenne S=l'écart type
--	--

Quant aux pluies maximales journalières (1968 – 2015), elles ont été traitées à partir de la loi de Gumbel dont la fonction de répartition est donnée par l'équation 8 :

$F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}} \quad (8)$	$x_0$ = paramètre de position $\frac{1}{a}$ = paramètre d'échelle
---------------------------------------	--

Les calculs ont été faits à l'aide du logiciel EXCEL. Les résultats, consignés à l'Annexe I (Etude hydrologique) permettent de définir pour les moyennes annuelles et les maximales journalières les quantiles caractéristiques, à un niveau de confiance de 95%.

### 2.2.1.3. Prédétermination de la crue du projet :

La détermination de la crue de projet consiste à déterminer le débit de crue pour lequel on souhaite protéger son ouvrage(FAO, 1998).

Le bassin versant n'ayant pas été jaugé, les méthodes spécialement mises au point pour les petits bassins versants de l'Afrique occidentale et centrale sont celles utilisées pour la prédétermination des débits de crue et des apports (COMPAORE, 1996). Les deux méthodes ici employées sont les méthodes CIEH et ORSTOM. Le détail de calcul est donné en **Annexe I**, page 60.

□ **Détermination de la crue décennale par les méthodes ORSTOM et CIEH :**

❖ **Méthode ORSTOM :**

Elle s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km<sup>2</sup>, relevant de la zone soudano- sahélienne et de la zone tropicale sèche (FAO, 1998). La zone d'étude étant située en zone soudano- sahélienne, avec un bassin peu boisé d'une couverture assez abondante et une pente du terrain relativement faible on admet que le bassin versant appartient à la classe RI (P3) des catégories de perméabilité, le débit de crue décennal est déterminé par l'équation 9:

$Q_{r10} = A * P_{10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}}$ $Q_{10} = m * Q_{r10} \quad (9)$	<p><math>Q_{r10}</math> = Débit de pointe du ruissellement superficiel décennal (m<sup>3</sup>/s)</p> <p><math>Q_{10}</math> = Débit de crue décennal par la méthode ORSTOM (m<sup>3</sup>/s)</p> <p>S = la superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)</p> <p><math>P_{10}</math> = pluie journalière maximale décennale (mm)</p> <p><math>K_{r10}</math> = Coefficient de ruissellement décennal obtenu par interpolation <math>K_{r70}</math> - <math>K_{r100}</math></p> <p><math>T_b</math> = Temps de base de la crue décennale (mn)</p> <p>A = Coefficient d'abattement de VILLAUME</p> <p><math>\alpha</math> = Coefficient de pointe pris égal à 2,6</p> <p>m = Coefficient majorateur égal à 1,06</p>
---	---

❖ **Méthode CIEH « où méthode statistique »**

Elle a été établie sur la base d'un échantillon de 162 bassins versants répartis en Afrique francophone, peut être employée sur des bassins allant jusqu'à 1000 km<sup>2</sup>, relevant de la zone tropicale sèche ou sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Elle est donnée par l'équation 10 :

$Q_{10} = a * S^s * Pan^p * Ig^i * Kr^k * Dd^d \quad (10)$	<p>a : Constante de la régression                  S : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)                  Pan : Pluviométrie annuelle (mm)                  Ig : Indice global de pente corrigé (m/km)                  Kr<sub>10</sub> : Coefficient de ruissellement décennal                  D<sub>d</sub> : Densité de drainage (km<sup>-1</sup>)</p>
--	--

□ **Débit de projet :**

Le débit du projet est le débit maximum admis par le projet et pour lequel l'aménagement doit être résistant. Le débit du projet est donné par la formule :

$Q_{\text{projet}} = C * Q_{10} \quad (11)$	<p>C : Coefficient de sécurité représentant le risque accepté au dépassement de Q<sub>10</sub> (coefficient de GRADEX).                  Q<sub>10</sub> : Débit de crue décennal.</p>
---	---

- C= 1,45 en acceptant un risque élevé ;
- C= 2 à 3 en prenant un risque faible.

Le choix du coefficient C doit tenir compte de la durée de vie minimale de l'ouvrage fixée à **30 ans** et des biens qui pourraient être endommagés en cas de rupture du barrage (habitations, vergers, valorisation...). Dans notre cas, une rupture éventuelle de l'ouvrage n'affectera pas les habitations et les vergers dans le bas-fond.

**2.2.1.4. Etude des apports :**

Il s'agit d'estimer en volume, les apports d'eau du bassin versant afin de s'assurer du remplissage de la retenue sur un cycle annuel (Puech et Chabi-Gonni du CIEH, 1983). Les apports proviennent des pluies, mais il faut tenir compte du déficit d'écoulement dû à l'évaporation. Ces apports sont évalués par les formules de TURC et COUTAGNE :

$K_e = \frac{\text{Ecoulement}}{\text{Quantile}} \text{ Et}$ $V_{\text{apports}} = K_e * P * 1000 * SBV \quad (12)$	<p>V : Volume des apports (m<sup>3</sup>)</p> <p>SBV : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)</p> <p>P : Quantile pluviométrique considéré (mm)</p> <p>Ke : Coefficient d'écoulements obtenus par la formule de TURC et COUTAGNE.</p>
---	---

- ❖ Vérification du remplissage de la retenue aux apports en année quinquennale sèche et décennale sèche :

En année quinquennale sèche :  $K_{e5} = 0,6 * K_e$

En année décennale sèche :  $K_{e10} = 0,5 * K_e$

### 2.2.2. Etudes hydrauliques et Dimensionnement du barrage :

#### 2.2.2.1. Etude de la retenue :

- **Estimation des besoins en eau et des pertes :**

#### Hypothèses de calcul :

Connaissant la consommation ménagère, animale et les valeurs des différentes pertes par évaporation, infiltration et dépôt solide, nous pouvons simuler la courbe d'utilisation de la retenue d'eau. Ainsi, convient-il donc de déterminer les besoins en eau des cultures du périmètre à irriguer afin d'effectuer le calage de la digue à la cote de projet adéquate.

Nous avons déterminé les besoins totaux de chacune des cultures telles que le riz, et les cultures maraichères. Nous avons ensuite considéré la culture la plus gourmande en eau (oignon).

- ❖ **Besoins agricoles :**

Les cultures concernées sont :

- La riziculture pluviale sur 20 ha
- Le maraîchage en saison sèche (oignon) sur 10 ha.

Les valeurs des paramètres permettant d'estimer les besoins des cultures sont données par les équations 13,14 ,15 et 16 suivantes :

<p>➤ <i>si</i> <math>P \geq 20 \text{ mm}</math>      Alors</p> <p><math>Pe \text{ (mm)} = P - (0.15 * (P - 20))</math>      (13)</p> <p>➤ <math>Pe \text{ (mm)} = P</math> <i>si</i> <math>P &lt; 20 \text{ mm}</math>      (14)</p> <p>➤ <math>Bn = Kc * ET0 - Pe</math>      (15)</p> <p>➤ <math>Bb = \frac{Bn}{e}</math>      (16)</p>	<p>P = pluviométrie moyenne mensuelles (mm)</p> <p>Pe = Pluie efficace (mm) Source <b>IRAT (Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières (Paris – France))</b>.</p> <p>Kc = Coefficient cultural de la plante</p> <p>ET<sub>0</sub>= Evapotranspiration de référence (mm)</p> <p>e= Efficience du système d'irrigation</p> <p>Bn = Besoins nets (mm)</p> <p>Bb = Besoins bruts (mm)</p>
--	---

❖ **Besoins pastoraux :**

Les besoins en eau pastoraux ont été estimés à partir du nombre de bétail à desservir et de la consommation qui est de 40 litres/jour/têtes pour le gros bétail et 5 litres/jour/têtes pour le petit bétail. La population a été actualisée à l'aide de l'équation 17 suivante avec des taux d'accroissement qui sont respectivement de 2% et 3% (**Source : Statistiques du Secteur de l'élevage au Burkina Faso Animaux, 2008**) :

$P_n = P_o (1 + T_x)^n$ (17)	<p>P<sub>n</sub> = population à l'échéance du projet</p> <p>P<sub>o</sub> = population initiale</p> <p>n = nombre d'année</p> <p>T<sub>x</sub> = taux d'accroissement</p>
------------------------------	---

❖ **Besoins domestiques :**

Pour les besoins domestiques, d'après les enquêtes faites sur le terrain, nous décidons d'allouer 20 litres/jour/habitant. La population a été actualisée à l'échéance du projet (30 ans) avec un taux d'accroissement de 2,5%, à l'aide de l'équation 17 ci-dessus. On estime ¼ de cette population utilisera directement l'eau du barrage. La tendance aujourd'hui étant l'utilisation de l'eau de forage pour la boisson et les besoins domestiques.

❖ **Pertes par infiltration :**

Les pertes par infiltration dépendent de la nature du sol de la cuvette. L'infiltration d'une retenue est variable dans le temps. Les mesures faites sur les bassins versant en Afrique sub-saharienne par l'ORSTOM donnent des valeurs comprises entre 1 et 5 mm/j ; Notre site se trouvant en zone sahélienne nous décidons de prendre une valeur de 3 mm/jour.

❖ **Pertes par évaporation :**

A partir des valeurs d'évaporation d'un bac, il est possible d'établir une corrélation avec les valeurs d'évaporation d'un lac par la formule de POUYAUD (COMPARORE, 1996).

$E_{lac} = 1,664 * (E_{bac A})^{0,602} \quad (18)$	$E_{lac}$ : évaporation du plan d'eau (mm/j) $E_{bac A}$ : évaporation au bac A (mm/j)
--	---

❖ **Dépôts solides :**

On les a évaluées par la formule de **l'EIER- CIEH (GRESILLON)** qui offre un résultat proche de la réalité.

$V_e = D * S \quad (19)$	$D$ : est la dégradation spécifique $P$ : pluie annuelle moyenne en mm $S$ : superficie (km <sup>2</sup> ). Avec $D = 700 (P/500)^{-2,2} * S^{-0,1}$
--------------------------	---

**2.2.2.2. Etude de la digue et des ouvrages annexes :**

**A) Dimensionnement de la digue :**

➤ **Revanche libre :**

La revanche libre (R) est une tranche comprise entre le PHE (Plus Hautes Eaux) et la crête du barrage. Cette hauteur appelée revanche permet de protéger la digue des risques de débordement. Le calcul de la revanche tient compte de la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau et la projection de l'eau vers le haut du barrage due à la vitesse de propagation des vagues lorsque celles-ci rencontrent le barrage. Pour son calcul, on utilise la formule de GAILLARD :

$R = 0,75 * [h + \frac{v^2}{2*g}] \quad (20)$	h = hauteur des vagues (m) f = fetch en km U = vitesse du vent en km/h V = vitesse de propagation des vagues (m/s) <b>V = 1,5+2* h</b>
---	--

➤ **Hauteur de la digue (E) :**

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 et elle est calculée à partir de la formule suivante

$H_D = H_r + h + R \quad (21)$	Hr = 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 22 et 23 :

Formule de <b>KNAPPEN</b> $lc = 1,65 * \sqrt{H_D} \quad (22)$	H <sub>D</sub> : Hauteur de la digue en (m) lc : largeur en crête de la digue en (m)
Formule de <b>PREECE</b> $lc = 1,1 * \sqrt{H_D} + 1 \quad (23)$	H <sub>D</sub> : Hauteur de la digue en (m) lc : largeur en crête de la digue en (m)

➤ **Tranchée d'ancrage :**

La tranchée d'ancrage sera remblayée en matériau étanche bien compacté, pouvant être considéré comme un parafouille , afin de lutter contre les lignes préférentielles d'infiltration le long ,et aussi le phénomène de renard qui est généralement créer par les sous pressions sous l'ouvrage provoquant les phénomènes de fuites . Le calcul de la tranchée se fait suivant la règle de LANE (utilisée aussi pour le dimensionnement du parafouille) :

$P_{min} = \frac{CH - \sum L_h/3 - \sum L_v}{2} \quad (24)$	<p><math>P_{min}</math> : Profondeur minimale de la tranchée d'ancrage du déversoir (m)</p> <p><math>L_v</math> : longueur verticale</p> <p><math>L_h</math> : longueur horizontale</p> <p>H : la hauteur d'eau en amont du déversoir</p> <p>C : coefficient de LANE dépendant de la nature du sol de fondation. Les sondages géotechniques montrent l'existence d'un sol argileux A6 ou A4 de faible consistance sur l'axe de l'ouvrage. C=3 (en rive gauche et au milieu)</p>
---	---

➤ **Pentes des talus de la digue :**

Les pentes des talus sont fixées par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations. Les pentes ont été fixées en tenant compte des caractéristiques géotechniques et de la nature des matériaux de construction de la digue.

Pour un barrage en terre homogène à granulométrie étendue, avec une hauteur de digue comprise entre 5 et 10 m les pentes sont de 2H/1V à l'aval et 2H/1V à l'amont sont admises.

*Tableau 3 : Pentes de talus en fonction de la hauteur du barrage*

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

*Source : LO (2016), cours de barrage, page 161.*

➤ **Largeur en fondation :**

La digue étant de forme trapézoïdale la largeur en base est donnée par l'équation 25 :

$L_f = L_c + (m_{amont} + m_{aval}) * H_D \quad (25)$	<p><math>L_c</math> = largeur en crête de la digue (m)  <math>m_{amont}</math> = (Fruit de berge amont)  <math>m_{aval}</math> = (Fruit de berge aval)  <math>H_D</math> = hauteur de la digue (m)</p>
---	--

➤ **Infiltration et hydraulique interne :**

Cette étude consiste à analyser les conditions d'étanchéité des corps de remblai (Puech et Chabi-Gonni, 1983), tout en sachant que les infiltrations peuvent causer trois phénomènes qui sont :

- 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.

<p>Si <math>\alpha &gt; 30^\circ</math> , <math>q = K_r * y_0</math>                  Si <math>\alpha &lt; 30^\circ</math> , <math>q = K_r * y_1 * (\sin \alpha)^2</math></p> $Y^2 - 2xY_0 - Y_0^2 = 0 \quad (26)$ $Y_0 = \sqrt{(h^2 + d^2)} - d \quad (27)$	<p><math>Y_0</math> : Point d'intersection de l'axe des ordonnées et de la parabole de Kozeny  <math>h</math> : tirant d'eau à l'amont (m)  <math>d</math> : largeur en base du barrage diminuée de 0,7 b et de la longueur du drain (m)  <math>q</math> : débit de fuite par mètre linéaire (m<sup>3</sup>/s/ml)  <math>\alpha</math> : angle du talus aval ;  <math>k_r</math> : coefficient de perméabilité du remblai de la digue (remblai compacté).</p>
--	---

➤ **Filtre et Drain :**

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.

Le filtre vertical sert de lieu de transition entre le remblai de la digue et le drain vertical. Il sert à éviter l'entraînement des particules fines du remblai par l'eau. Les caractéristiques des filtres sont données par les équations 28 et 29 :

$e = 2 * \sqrt{\left(\frac{q * l_d}{K_f}\right)} \quad (28)$	e : épaisseur (m) l <sub>d</sub> : longueur (m)
$l_d = \frac{L_b}{3,5} \quad (29)$	L <sub>b</sub> : largeur de la digue du barrage (m) K <sub>f</sub> : (perméabilité du drain en m/s)
<p><b>La valeur minimale recommandée est de 0,5 m (Source : Techniques des petits barrages en Afrique Sahélienne et Equatoriale page 193)</b></p>	

➤ **Stabilité des talus de la digue :**

Un barrage mal dimensionné et instable porte préjudice à la sécurité des populations, des exploitations agricoles et aménagements situés à son aval. (Source Techniques des petits barrages en Afrique Sahélienne et Equatoriale page 149).

La digue étant homogène, en terre, les sollicitations extérieures ne sont pas susceptibles d'entraîner un renversement ou un glissement d'ensemble. Le phénomène le plus à craindre est le glissement des talus. L'étude de stabilité sera donc conduite sur la méthode des cercles de glissement de BISHOP. Elle a été vérifiée à l'aide du logiciel Géoslope Version 2012 afin de conforter les valeurs forfaitaires choisies dans le tableau 2 ci-dessus énoncé.

Nous effectuerons deux types de vérifications :

- la vérification à la retenue vide
- la vérification à la retenue pleine.

$F_s = \frac{\sum \frac{(W - Pb) * \tan\phi + C * b}{\cos\alpha * (1 + \frac{\tan\alpha * \tan\phi}{F_s})}}{\sum (w \sin\phi)} \quad (30)$	C : cohésion du matériau de remblai W : Poids propre de l'ouvrage (KN/ml) P : Poussées exercées sur l'ouvrage (KN/ml)
--	---

**B) Évacuateur des crues :**

➤ **Laminage des crues :**

Le laminage des crues consiste à chercher une solution optimale sur la longueur du déversoir à l'arrivée de la crue de projet (GUEYE, 2014). L'objectif du calcul est de définir deux paramètres clés qui sont : la longueur du seuil déversant, la lame d'eau maximale au-dessus du déversoir. La longueur du seuil déversant a été déterminée avec la crue brute. Elle est donnée à l'équation 31 :

$L = \frac{Q}{m \times (2 \times g)^{1/2} \times h^{3/2}} \quad (31)$	<p>Q = débit du projet (m<sup>3</sup>/s)</p> <p>L = longueur du seuil déversant (m)</p> <p>M = coefficient de débit du seuil déversant (profil trapézoïdal)</p> <p>g = Constante de gravitation g(m/s<sup>2</sup>)</p> <p>h = lame d'eau déversante (m)</p>
---	---

➤ **Bassin de dissipation :**

Le bassin de dissipation est la partie de l'évacuateur qui sert à dissiper l'énergie de chute et son action érosive. Il doit pouvoir contenir le ressaut hydraulique à l'aval. Le choix du type de bassin de dissipation a été fait en fonction de la vitesse de l'eau à l'entrée du bassin et du nombre de Froude.

Les dimensions géométriques du bassin ont été estimées soit à partir des abaques proposés par Grésillon et Lahaye, soit à partir de formules de calcul. Les eaux déversées dans le bassin de dissipation seront acheminées par un chenal d'évacuation et délimitées par des diguettes de protection. Les caractéristiques du chenal ont été définies par les lois d'écoulement en surface libre (MAR, 2004).

$\frac{Q_{Projet}}{K_s * \sqrt{I}} = \frac{y_n * (b + m y_n)^{\frac{5}{3}}}{(b + 2 y_n * \sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}}$ $Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g * y_1}}$ $V_1 = \frac{Q_s}{y_1} \quad (32)$	<p><math>Q_{Projet}</math> : débit du projet (m<sup>3</sup>/s)</p> <p><math>K_s</math> : coefficient de rugosité de Manning Strickler</p> <p><math>I</math> : Pente longitudinale (m/km)</p> <p><math>y_n</math> : Tirant d'eau normal (m)</p> <p><math>b</math> : largeur en plafond (m)</p> <p><math>V_1</math> : vitesse à l'entrée du Bassin de dissipation (m/s)</p> <p><math>Y_1</math> : Tirant d'eau à l'entrée du Bassin de dissipation(m)</p> <p><math>Q_s</math> : Débit spécifique (m<sup>3</sup>/s/ml)</p>
---	---

➤ **Protection aval du bassin :**

Le bassin ne dissipe que 75% de l'énergie de l'eau (LO, 2016), il faut donc protéger l'aval avec du gabion sur une certaine distance.

- Diamètre minimum des enrochements nécessaires ( $D_{enrochement}$ ) est lue sur l'abaque (Cf. **Annexes II**).

- Epaisseur de la couche d'enrochement. ( $E_{enrochement}$ )

$E_{enrochement} \geq 3 * D_{enrochement}$ . (LO, 2016)

- Longueur à protéger (  $L_{protection}$  )

$L_{protection} \geq 2 * L$  (LO, 2016)

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

L'étude de stabilité du barrage en poids concerne l'équilibre de l'ensemble de l'ouvrage. L'ouvrage doit résister au glissement sur la fondation et au renversement. Les actions mises en jeu sur une tranche latérale de 1 m du déversoir font intervenir, le poids propre du déversoir, la poussée hydrostatique amont, les sous-pressions, éventuellement la poussée des sédiments accumulés à l'amont et la poussée hydrostatique aval.

Pour l'étude de la stabilité du déversoir, nous avons considéré deux cas de figure :

**Cas1** : Nous supposons qu'il n'y a pas de déversement d'où **h=0 (PEN)**

**Cas2** : Nous trouvons à la côte des plus hautes eaux (**PHE**) et **h=1**

✓ **Stabilité au glissement :**

La vérification de la stabilité au glissement revient à comparer la force tangentielle de glissement admissible sous le mur avec la composante tangentielle réellement appliquée. Le coefficient de sécurité doit être supérieur à 1,5 pour que la stabilité au glissement soit vérifiée. Il est donné à l'équation 33 :

$$F_G = \frac{C_s + \sum(W - P_i) \tan \phi}{\sum(P)} \geq 1,5 \quad (33)$$

$F_G$  = coefficient de sécurité au glissement ;

$W$  = poids propre de l'ouvrage ;

$P_i$  = sous pression ;

$C_s$  = la cohésion du sol de fondation.

✓ **Stabilité au renversement :**

Dans un premier temps, on suppose que le mur pivote autour du point B et on calcule les moments des forces motrices (poussée de l'eau et sous-pression) et forces résistantes (poids propre de l'ouvrage). Le rapport des deux moments est considéré comme le facteur de sécurité au renversement et doit être supérieur ou égal à 1,5. Il est donné à l'équation 34 :

$$F_R = \frac{\sum M_{résistants}}{\sum M_{moteurs}} \geq 1,5 \quad (34)$$

$F_R$  = coefficient de sécurité au renversement ;

✓ **Stabilité au poinçonnement :**

La résistance au poinçonnement est assurée lorsque la pression normale sous le massif est toujours inférieure à la pression admissible du sol. Les contraintes doivent être positives mais inférieures à la contrainte du sol ( $\sigma_A$  et  $\sigma_B$  positives mais  $< \sigma_{sol}$ ). Le point C agit au centre de gravité du seuil mais à la base du seuil, il agit à  $b/2$ .

La contrainte admissible du sol est donnée par l'équation 35 :

$\sigma_{adm.sol} = \frac{1}{2} * B * \gamma * Ny + C * Nc + \gamma * D * Nq \quad (35)$	<p><math>\gamma</math> : Poids Volumique du sol sous la base de la fondation (KN/m<sup>3</sup>)</p> <p><math>\Phi</math> : Angle de frottement interne du sol sous la base de la fondation (rad)</p> <p><math>Ny</math> : Facteur de portance obtenu par interpolation</p> <p><math>C</math> : Cohésion du sol sous la base de la fondation</p> <p><math>Nc</math> : Facteur de portance obtenu par interpolation</p> <p><math>D</math> : profondeur d'encastrement de la fondation (profondeur à laquelle se trouve la base de la fondation (m))</p> <p><math>Nq</math> : Facteur de portance obtenu par interpolation</p>
--	---

La contrainte maximale soumise au sol est donnée à l'équation 36 ci-dessus :

$\sigma_{max} = \left(\frac{\Sigma(W-U)}{B}\right) * \left(1 + 6 * \frac{e}{B}\right) \quad (36)$ <p style="text-align: center;"><b>Avec :</b></p> $\sigma_{max} \leq \sigma_{adm.sol}$	<p><math>\sigma_{max}</math> = contrainte maximale au sol</p> <p><math>\sigma_{adm.sol}</math> = contrainte admissible du sol</p> <p>W = somme des forces verticales</p> <p>U = somme des forces horizontales</p>
---	---

➤ **Mur bajoyer :**

Pour éviter des affouillements au niveau de la jonction de la digue en terre et du déversoir, des murs bajoyers sont indispensables. Ces murs sont pourvus d'écrans anti renards noyés dans la terre compactée pour éviter qu'une ligne de fuite se crée au contacte terre-béton.

Les éléments de pré-dimensionnement sont (Berton, 1988) :

- Largueur en crête (A) : A = largeur en crête de la digue
- Hauteur du mur au- dessus du TN (H) : hauteur de la digue au -dessus du TN
- Epaisseur du mur (C) :  $C = \frac{H}{24}$  , ( $0,3 \leq C \leq 0,5$ )
- Longueur de l'écran anti- renard (B) :  $B = \frac{H}{3}$
- Pente des murs latéraux : identiques aux pentes amont et aval de la digue

NB : Le logiciel CYPE sera utilisé pour le dimensionnement final.

➤ **Ouvrage de prise et de Vidange :**

Le calcul du débit d'évacuation du pertuis permet de déterminer le temps de vidange de la retenue en fonction du volume d'eau compris entre la hauteur H du plan d'eau normal et la hauteur h à évacuer.

Ceci permet de voir si le temps de vidange est compatible avec les techniques culturales et la durée de submersion supportable par la culture pratiquée.

Pour une vidange totale, il faudra diminuer la hauteur d'eau au niveau de la retenue de la **côte 267,65 m (Plan d'eau normal) à la côte 265 ,25 m (côte fond pertuis).**

✓ **Ouvrage de prise :**

Le choix du type d'ouvrage de prise a été fait en fonction des contraintes budgétaires et de la charge d'eau disponible. Son diamètre a été déterminé à partir de la formule de Torricelli qui se définit à l'équation 37 :

$U_B = \sqrt{2gh}$ $D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot U_B}} \quad (37)$	<p>Q = Débit obtenu par la formule de Torricelli (m<sup>3</sup>/s)</p> <p><math>U_B</math> = vitesse</p> <p>D = diamètre de la conduite (mm)</p> <p>h= charge de l'eau (m)</p> <p>g = pesanteur = 9,81 m<sup>2</sup>/s</p>
--	--

✓ **Ouvrage de vidange :**

Sur les petits barrages agricoles, on prévoit des organes de vidanges qui sont souvent des batardeaux destinés à vider la retenue en cas de besoin (**Source : Technique des petits barrages en Afrique Sahélienne et Equatoriale**). L'ouvrage de vidange se définit par son temps de Vidange donné à l'équation 38.

$t = \frac{S}{s} * \sqrt{\frac{2}{g}} * (\sqrt{h_0} - \sqrt{h}) \quad (38)$	<p>T=Temps de vidange (s) S = Superficie au PEN (<b>Source</b>) s = Section de l'ouvrage de vidange (m<sup>2</sup>) h<sub>0</sub>=Charge au PEN (m) h=Charge à côté de l'ouvrage de vidange (m)</p>
---	---

Le temps pour la vidange totale du barrage est, le temps pour lequel on passe de la hauteur initiale (h<sub>0</sub>), à la hauteur (h=0).

$$T = \frac{S}{s} * \sqrt{\frac{2}{g}} * (\sqrt{h_0})$$

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS :

#### 3.1.Synthèse des études de bases :

Ces études concernent les études sociologiques, topographiques, géotechniques pédologiques.

##### 3.1.1. Les Activités de production agricole :

L'agriculture constitue la principale activité socio-économique des habitants de la zone du projet. Une enquête menée au niveau des ménages fait ressortir les activités principales et les activités secondaires. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-après.

*Tableau 4 : Principales activités menées par la population de KIOUGOU KANDAGA*

Enquêtés	Agriculture	Elevage	Autre
Totaux	43	7	0
Fréquences	86,00%	14,00%	0,00%

*Source : Enquêtes ménages KIOUGOU KANDAGA, bureaux d'études AC3E/GERTEC, août 2017.*

Selon ce tableau, les chefs de ménages enquêtés sont à 86,00% des agriculteurs. C'est une agriculture extensive essentiellement orientée vers la production céréalière et l'autoconsommation. La production agricole est basée essentiellement sur les principales spéculations suivantes: le millet, le sorgho rouge, le sorgho blanc, le maïs et le riz. Les cultures de contre saison sont produites par les maraîchers qui conduisent cette activité prioritairement en saison des pluies suite à l'insuffisance d'eau pendant la saison morte.

##### 3.1.2. Elevage :

L'élevage constitue la seconde activité de la population de la zone du projet après l'agriculture. Sur les 50 ménages enquêtés, 43 adoptent l'élevage comme activité secondaire après l'agriculture et 7 adoptent l'élevage comme activité principale. (Voir tableau 4).

A KIOUGOU KANDAGA, l'élevage est pratiqué par des agro pasteurs. L'alimentation du bétail est basée sur le fourrage naturel. En saison sèche, les animaux se nourrissent des Sous-Produits Agricoles (SPA). Le cheptel moyen par ménage au sein de la communauté de KIOUGOU KANDAGA est donné par le tableau suivant :

Tableau 5 : Cheptel moyen des ménages enquêtés

N°	Gros bétail : Bovins, Asins, Equidés, Autres	Petit bétail : Ovins, Caprins, Autres
Totaux	566	833
Moyennes /manages	11	17

Source : Enquêtes ménages KIOUGOU KANDAGA, bureaux d'études AC3E/GERTEC, août 2017.

### 3.1.3. Les Infrastructures socio-économiques communautaires :

Le village de KIOUGOU KANDAGA compte comme infrastructures socio-économiques communautaires :

- Infrastructures hydrauliques : trois (03) forages tous fonctionnels à la date de l'enquête ; quatre (04) puits à grand diamètre fonctionnel à la date de l'enquête ;
- Infrastructures socioéducatives : deux (02) écoles à trois (03) classes ;
- Un (01) marché dans le quartier Kiougou Centre, qui se tient tous les jours ;
- Un (01) Centre de Soins et de Promotion Sociale (CSPS) avec pharmacie dans le quartier Konviki ;
- Infrastructures religieuses du village de KIOUGOU KANDAGA (cinq (05) bois sacrés, une (01) mosquée, une (01) église catholique, une (01) église protestante).

### 3.1.4. Études topographiques :

En septembre, une campagne topographique a été menée sur le site de Kougiou-Kandaga. Elle s'est déroulée en six en phases, les résultats obtenus se résument comme suite :

- La mise en place de polygones ayant servi de base au nivellement et à l'implantation des bornes sur la rive gauche et sur la rive droite. Une borne intermédiaire Z1 a été également implantée ;
- La matérialisation des axes préférentiels de l'ouvrage par des bornes pour une couverture totale du bas fond, l'équipe a eu recours à des bornes antennes qui n'ont pas fait l'objet de scellement ;
- Le plan d'ensemble du bas-fond à l'échelle 1/2000 avec des courbes de niveau d'une équidistance de 0,25 ;
- Les profils en long et travers des axes proposés aux l'échelle 1/1000 et 1/100.

### 3.1.5. Études géotechniques et pédologiques :

Les études géotechniques et pédologiques ont été menées par le LNBTP de OUAGADOUGOU en vue de définir les caractéristiques du sol prévu pour la fondation du pont barrage et de classer les différents sols rencontrés dans le bas fond, sous la supervision du Consultant.

#### 3.1.5.1. Etudes Pédologiques ou Prospection de Surface :

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

- La classe des sols hydromorphes qui comprend le sous-groupe des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface (HPGS) ;
- La classe des Sols à sesquioxydes de fer et de manganèse qui comprend le sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux (FLM) et des sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions (FLTC) ;
- Les sols sont sablo – limoneux : Cette frange située en prolongement vers l'aval des versants, au niveau du raccordement avec le bas de la cuvette, forme une surface bordant la plaine inondable.

#### 3.1.5.2. Etudes Géotechniques ou Prospection en Profondeur :

##### a) Investigations sur la fondation du barrage :

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

*Tableau 6: Résultats des essais sur échantillon d'argile*

Emprunt	Nature	Granulométrie		Limites d'Atterberg			Proctor normal		Cisaillement direct		Perméabilité (m/s)
		Tamisage		W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	I <sub>P</sub>	W <sub>opm</sub>	γ <sub>d</sub> opm	C (kPa)	Ø (°)	
		D <sub>max</sub> (mm)	% fines								
Emprunt 1	Argile	5	93	38	16	2 2	15	1,78	43,4	4	5,1*10 <sup>-6</sup>

*Tableau 7 : Résultat des essais de sédimentométrie*

Échantillons	Gravier ( $\varnothing > 5$ )	Limon ( $80\mu > \varnothing > 2\mu$ )	Argile ( $\varnothing < 2\mu$ )
Emprunt 2	0	58	24

*Tableau 8 : Résultats des essais sur sable*

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

**b) Investigation sur les zones d'emprunt :**

➤ **Matériaux argileux :**

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

➤ **Gravier granitique :**

On en trouve sur les collines du village non loin du site. Le granite est très grossier et peut servir pour les opérations de construction. Le gravier écrêté ou concassé est convenable pour le béton.

➤ **Sable :**

On en trouve le long d'un cours d'eau dans le village de Kougiou-Kandaga. L'identification de ce sable par la classification USCS montre que c'est du sable propre mal gradué (SP) et du sable limoneux. Ce sable n'est pas convenable pour le béton. Le sable de bonne qualité est inexistant au voisinage du site.

**c) Zone d'approvisionnement des autres matériaux :**

Un site d'emprunt de graveleux latéritique a été prospecté et étudié à environ 6 km de la future digue. Il s'agit de graveleux latéritique peu argileux. Ce matériau pourra servir pour les travaux de couche de protection et les pistes d'accès.

**3.1.6. Etude hydrologique :**

**3.1.6.1. Caractéristiques physiques et morphologique du bassin versant :**

Les caractéristiques du bassin versant sont les suivants (cf **Annexes I**, page 51).

*Tableau 9 : Caractéristiques du bassin versant de Kiougou-Kandaga*

Paramètres du bassin	Valeurs	Unité	Observations
climat			sahélien
Superficie	40,29	km <sup>2</sup>	délimitée avec global mapper
Périmètre	35,67	km	délimité avec le logiciel global mapper
Coefficient de compacité de GRAVELIUS (KG)	1,59		
Longueur du rectangle équivalent (L)	15,19	km	
Largeur du rectangle équivalent (l)	2,65	km	
Longueur totale du réseau	83,37	km	déterminée dans global mapper
Hauteur minimale du plus long court d'eau	266	m	
Hauteur maximale du plus long court d'eau	302	m	
Densité de drainage	2,07	km <sup>-1</sup>	
équidistance entre les courbes de niveau	5	m	
longueur totale des courbes de niveau (L)	104,50	km	déterminée dans global mapper
Pente moyenne du bassin	12,97	m/km	
H (5%) - H(95%)	30,00	m	donné par la courbe hypsométrique
Ig	1,98	m/km	
It	1,21	m/km	It > (0,2*Ig+Ig) donc besoin de correction
n	3,00		car 5 km <L <25 km
Igcor	1,72	m/km	
Igcor (en %)	0,17	%	
Typologie du relief	//	//	relief faible

Typologie du réseau hydrographique	//	//	dendritique
classe d'infiltrabilité	//	//	RI
Typologie des bassins versant	//	//	Petit bassin versant
Classe du bassin en fonction de la pente	//	//	R

### 3.1.6.2. Analyses fréquentielles des pluies :

**Données disponibles : (source : station synoptique de TENKODOGO)**

- ❖ Série des pluies moyennes annuelles : 1970-2016 (36 valeurs retenues)  
Sur cette série, on fera un ajustement par la loi de Gauss qui se justifie par le fait que le mode, la moyenne et la médiane sont proche, et également par la nature des données. **Car on a un échantillon supérieur à 30.**
- ❖ Série des pluies maximales journalières : 1970-2016 (37 valeurs)  
Ajustement par la loi de GUMBEL à cause de la nature extrême de la série (tableau).

*Tableau 10 : Pluie moyenne annuelle*

Pluie moyenne annuelle (mm)	806,5
Variance	21524,5
Ecart type	146,7
Mode	797,3
Médiane	796,5
Minimum	542,8
Maximum	1171,1

*Tableau 11 : Ajustement par la loi de Gauss (pluies annuelles)*

	période sèche		temps de retour	période humide		
Pluie (mm)	u	F(x)		1-F(x)	u	Pluie (mm)
618,78	-1,28	0,1	10 ans	0,9	1,28	994,36
683,33	-0,84	0,2	5 ans	0,8	0,8	923,94
464,73	-2,33	0,01	100 ans	0,99	2,33	1148,41
519,01	-1,96	0,02	50 ans	0,98	1,96	1094,13

*Tableau 12 : Ajustement par la loi de Gumbel (pluies maximales journalières*

période sèche			temps de retour	période humide		
Pluie (mm)	u	F(x)		1-F(x)	u	Pluie (mm)
44,42	-0,83	0,1	10 ans	0,9	2,25	96,59
50,48	-0,48	0,2	5 ans	0,8	1,50	83,90
32,70	-1,53	0,01	100 ans	0,99	4,60	136,33

Ainsi on aura :

<p><b><math>P_{j10}</math> = pluie journalière décennale = 96,59 mm</b></p> <p><b><math>P_{an}</math> = pluie annuelle décennale = 994,36 mm</b></p> <p><b><math>P_m</math> = pluie moyenne = 806,54 mm</b></p>
---

### 3.1.6.3. Prédétermination de la crue du projet :

L'utilisation des deux méthodes de calcul du débit maximal nous a permis d'avoir respectivement les valeurs pour la méthode de l'ORSTOM et du CIEH. Comme l'ouvrage à mettre en place est un ouvrage de sécurité, nous allons retenir la valeur fournie par la méthode CIEH pour avoir de la sécurité. Les détails de calculs sont en « **Annexe I**, page 60) .

*Tableau 13 : Débit du projet*

	DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
<b>Méthode ORSTOM</b>	Crue décennale	m <sup>3</sup> /s	60,9
<b>Méthode CIEH</b>	Crue décennale	m <sup>3</sup> /s	35,7
<b>Débit retenu</b>	Crue décennale retenue	m <sup>3</sup> /s	<b>60,9</b>
<b>Débit Projet</b>	Coefficient majorateur		3,2
	P100	mm	134,7
	Crue centennale	m <sup>3</sup> /s	193,7
	Crue centennale retenue	m <sup>3</sup> /s	<b>194</b>

### 3.1.6.4. Etude des apports :

Il s'agit d'estimer en volume les apports d'eau du bassin versant afin de s'assurer du remplissage de la retenue sur un cycle annuel (Puech et Chabi-Gonni du CIEH, 1983). Les apports proviennent des pluies, mais il faut tenir compte du déficit d'écoulement dû à l'évaporation.

*Tableau 14 : Estimation du volume des apports*

Paramètres	Valeurs
$\lambda$	0,21
D (m)	0,63
T : Température (°C)	28,3
$K_e$ (%)	16,9
P (mm)	806,57
$S_{BV}$ (km <sup>2</sup> )	40,29
$V_{\text{apports}}$ (m <sup>3</sup> /an)	<b>5 504 172</b>

- ❖ Vérification du remplissage de la retenue aux apports en année quinquennale sèche et décennale sèche :

*Tableau 15 : Vérification du remplissage de la retenue en année quinquennale sèche et décennale sèche*

Périodes	Pluie (mm)	$K_e$	Volume écoulé
Année quinquennale sèche	683,5	0,12	652 593 m <sup>3</sup>
Année décennale sèche	618,78	0,085	466 138 m <sup>3</sup>

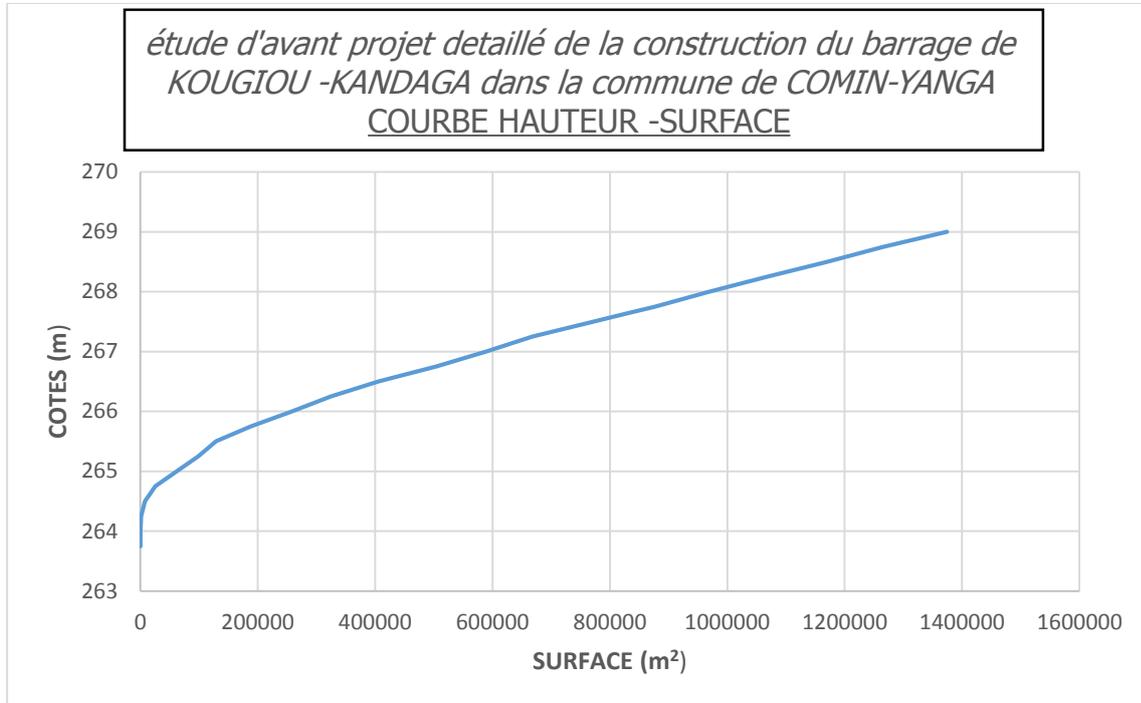
## 3.2. Etudes hydrauliques et dimensionnements du barrage :

### 3.2.1 Etude de la retenue :

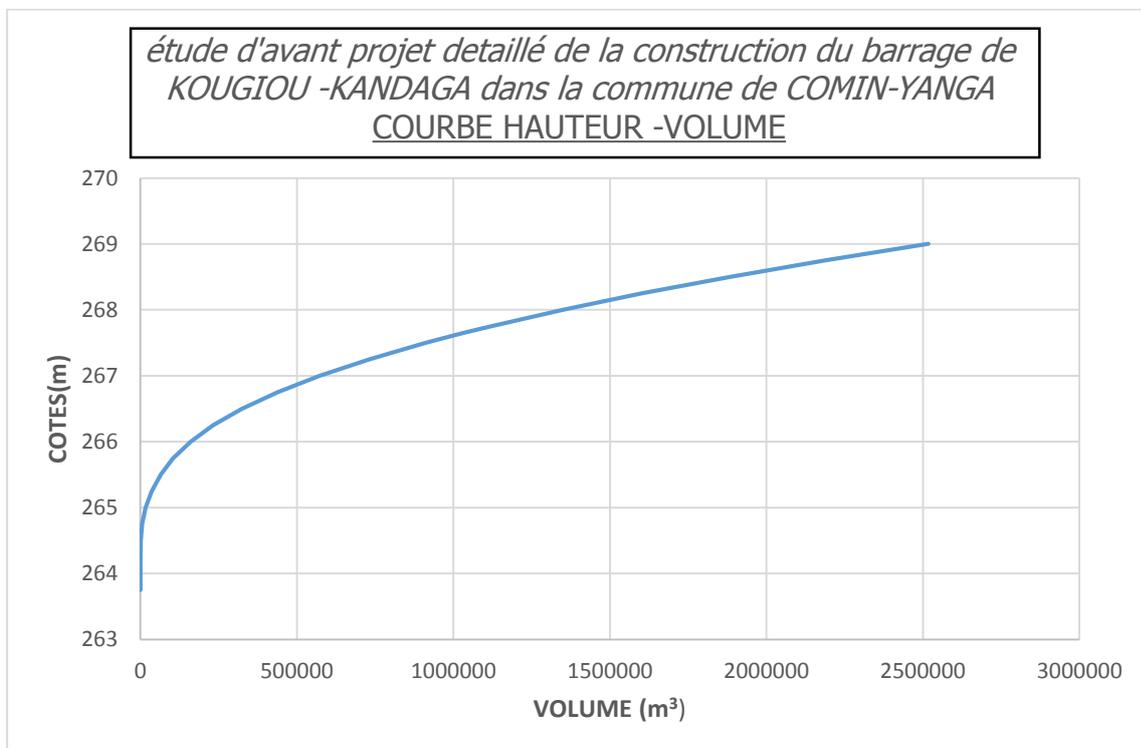
#### A) Courbe hauteur volume et hauteur surface :

Après avoir placé l'axe de la digue, nous avons pu tracer la courbe hauteur-Surface et Hauteur-Volume, en calculant la surface moyenne entre les plans finis par courbes de niveau se

refermant sur notre axe de la digue du barrage sur le plan topographique. Ces données ont permis de tracer les courbes hauteur-Volume et Hauteur-Surface. (cf **Annexe II** , page 64 ).



*Figure 2 : Courbe hauteur –surface*



*Figure 3 : Courbe hauteur –volume*

**B) calage du plan d'eau normal :**

Le calage est fait de façon à assurer les besoins en eau avec une marge suffisante ; ce qui revient à une exploitation de la **courbe hauteur - volume - surface** (courbe d'exploitation de la retenue). La variable étant la superficie exploitable. Ici, nous nous baserons sur la topographie, les aspects d'ordre économiques et l'extension possible de surfaces aménageables pour proposer les choix suivants qui devront être justifié par les études hydrologiques et hydrauliques.

Désignation	Côte (m)	Surface du plan d'eau (m <sup>2</sup> )	Volume stocké (m <sup>3</sup> )
<b>Plan d'Eau Normal (PEN)</b>	<b>267,65</b>	<b>834 801</b>	<b>1 032 231</b>

**C) Estimation des besoins en eau et des pertes :**

L'objectif du projet est d'assurer la riziculture pluviale, le maraîchage en saison sèche ainsi que l'abreuvement éventuel des animaux.

**C.1 Estimation des besoins :**

❖ **Besoins en eau agricole :**

L'estimation des besoins agricoles se fait suivant un calendrier cultural, en conformité avec le souhait des paysans, qui s'étend :

- ✓ De novembre à mars pour les cultures maraichères (oignon, légumes ...)
- ✓ De Juin à octobre pour le riz pluvial.

Les cultures concernées sont :

- La riziculture pluviale sur 20 ha
- Le maraîchage en saison sèche (oignon) sur 10 ha.

Ainsi, le calcul effectué sur l'oignon (culture la plus contraignante pour le maraichage) nous donne les résultats ci-dessous. En considérant que l'efficacité  $e = 0,6$  et la superficie de maraichage égale à **10 hectares**, on a le résultat suivant :

*Tableau 16 : Besoins agricoles*

Mois	1 <sup>er</sup> novembre	1 <sup>er</sup> décembre	1 <sup>er</sup> janvier	1 <sup>er</sup> février	1 <sup>er</sup> mars
<b>Durée</b>	30	31	31	28	31
<b>kc équivalent</b>	0,63	0,95	1,05	0,98	0,85
<b>ET0 (mm/j)</b>	5,77	5,42	6	6,19	6,77
<b>ETM (mm/j)</b>	3,6	5,15	6,3	6,07	5,75
<b>ETM (mm)</b>	109,1	159,6	195,3	169,9	178,4
<b>P (mm)</b>	2,1	0,3	0,2	0,9	4,9
<b>Pe (mm)</b>	2,1	0,3	0,12	0,9	4,9
<b>pe (mm/j)</b>	0,07	0,01	0,004	0,03	0,16
<b>Bn(mm) = ETM - Pe</b>	107,0	159,3	195,2	169,0	173,5
<b>Besoins nets (m<sup>3</sup>/ha)</b>	1070	1593	1952	1690	1735
<b>BESOINS NETS TOTAUX par campagne (m<sup>3</sup>) = somme des besoins nets x Superficie (ha)</b>					<b>80 390</b>

**NB** : Les mêmes méthodes de calculs sont effectuées pour le riz (sur les 20 hectares), mais avec des coefficients cultureux différents.

❖ **Besoins pastoraux :**

Les besoins en eau pastoraux ont été estimés à partir du nombre de bétail à desservir et de la consommation qui est de 40 litres/jour/têtes pour le gros bétail et 5 litres/jour/têtes pour le petit bétail. L'actualisation de ces résultats à l'échéance du projet, grâce à l'équation ci-dessus nous donne le résultat suivant :

gros bétail (2047)	17320 têtes
petit bétail (2047)	25740 têtes

Le tableau récapitulatif des besoins pastoraux à l'horizon du projet est représenté ci-dessous :

Tableau 17 : Besoins pastoraux

mois	jours	gros bétail (m <sup>3</sup> )	petit bétail (m <sup>3</sup> )	besoins total (m <sup>3</sup> )
novembre	30	20784	3861	24644
décembre	31	21476	3990	25466
janvier	31	21476	3990	25466
février	29	20091	3732	23823
mars	31	21476	3990	25466
avril	30	20784	3861	24644
mai	31	21476	3990	25466
juin	30	20784	3861	24644
juillet	31	21476	3990	25466
Aout	31	21476	3990	25466
septembre	30	20784	3861	24644
octobre	31	21476	3990	25466
<b>total</b>	<b>366</b>	<b>253559</b>	<b>47104</b>	<b>300663</b>

#### ❖ Besoins domestiques

Pour les besoins domestiques, la consommation est de 20 litres/jour/habitant. La population actualisée à l'échéance du projet (30 ans) avec un taux d'accroissement de 2,5% est de **28 122 habitants**. On estime que  $\frac{1}{4}$  de cette population utilisera directement l'eau du barrage. La tendance aujourd'hui étant l'utilisation de l'eau de forage pour la boisson et les besoins domestiques, ainsi la population utilisant l'eau de barrage est de **7 031 habitants**. Le total des besoins en eaux domestiques et estimé à : **51 467 m<sup>3</sup>**. Les détails de calculs sont en **Annexes I**.

#### ❖ Récapitulatif des besoins :

Tableau 18 : Hypothèses de simulation et estimation des besoins

Hypothèses de simulation (Besoins)	Domestiques		Pastoraux			Agricoles		Efficience d'irrigation
	Nhbts.	7031	Ntêtes			Riz (ha)	20	
	Cs (l/jr/hbt)	20	Cs (l/jr/tête)	5 (petit bétail)	40 (gros bétail)	Maraichage (ha)	10	

Besoins pastoraux et domestiques													
Mois	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Total
Nbre de jours	30	31	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	<b>366</b>
Besoins mensuels (m <sup>3</sup> )	28863	29825	29003	29544	29825	28042	29825	28863	29825	29003	29685	29825	<b>352128</b>
Besoins agricoles pour la riziculture													
Besoins bruts (m <sup>3</sup> /ha)								1610	1400	918	1480		<b>5 408</b>
Besoins agricoles pour le maraîchage													
Besoins bruts (m <sup>3</sup> /ha)	1070	1593	1952	1690	1735								<b>8039</b>
Besoins agricole (m <sup>3</sup> )	<b>403 410</b>												
Somme de tous les besoins													
Besoins (m <sup>3</sup> )	<b>755 530</b>												

**C.2) Estimation des pertes :**

❖ **Pertes par infiltration :**

Les pertes par infiltration dépendent de la nature du sol de la cuvette. L'infiltration d'une retenue est variable dans le temps. Les mesures faites sur les bassins versant en Afrique subsaharienne par l'ORSTOM donnent des valeurs comprises entre 1 et 5 mm/j ; Notre site se trouvant en zone sahélienne nous décidons de prendre une valeur de 3 mm/jour. Elles sont représentées comme suit :

*Tableau 19 : Pertes par infiltration*

mois	Nov.	déc.	jan	fév.	mars	avril	mais	juin	juil.	aout	sep	oct.	total
<b>jours</b>	30	31	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	<b>366</b>
<b>infiltration (mm)</b>	90	93	93	87	93	90	93	90	93	93	90	93	<b>1098</b>

❖ **Pertes par évaporation :**

Elles sont évaluées par les estimations de BERNARD POUYOT de l'ORSTOM.

Nous obtenons les valeurs de l'évaporation de la retenue dans le tableau ci-dessous :

*Tableau 20 : Pertes par évaporation de KIOUGOU-KANDAGA*

Mois	Durée (j)	Evaporation bac "A" (mm)	Evaporation Lac (mm)
novembre	30	233,8	171,8
décembre	31	221	168,3
janvier	31	219,9	167,8
février	28	248,2	173,3
mars	31	320,5	210,5
avril	30	328,3	210,8
mai	31	332,8	215,3
juin	30	280,6	191,8
juillet	31	225,9	170,5
septembre	30	186,6	150,0
octobre	31	240,3	177,0
<b>Total</b>		<b>2159,0</b>	

❖ **Dépôts solides**

La méthode de l'EIER –CIEH nous donne alors :

$$E = 8994,002 \text{ m}^3/\text{an.}$$

Par comparaison au volume de la retenue, il faudra environ 50 ans pour que la retenue soit complètement envasée ; ce qui est envisageable avec la durée de vie de l'Ouvrage de 30 ans.

Temps d'envasement : **TE = 50 ans.**

**D) Courbe d'exploitation de la retenue :**

Pour l'exploitation de la retenue l'hypothèse suivante a été analysée.

☞ **Hypothèse:**

**Maraîchage de contre saison** : cette situation se situe dans l'alternative où tout se déroule normalement et que le riz pluvial arrive à maturité avec la pluviométrie. Dans ce contexte la retenue sera exploitée uniquement en contre saison pour le maraîchage. En effet l'effet d'épandage crée par l'ouvrage et la régulation du plan d'eau par les batardeaux devra assurer la maturité du riz.

*Tableau 21 : Tableau de simulation de la retenue pour courbe d'exploitation*

mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
<b>Besoins</b>					
<b>maraichage (m3/ha)</b>	1070	1593	1952	1690	1735
<b>maraichage (m3)</b>	10700	15930	19520	16900	17350
<b>besoin du Cheptel (m3)</b>	24644	25466	25466	23823	25466
<b>sommes besoins en eau (m3)</b>	35344	41396	44986	40723	40723
<b>pertes</b>					
<b>pertes par évaporation (mm)</b>	167,8	173,3	210,5	210,8	215,3
<b>pertes par infiltration (mm)</b>	90	93	93	87	93
<b>sommes pertes en eau (mm)</b>	257,8	266,3	303,5	297,8	308,3
<b>somme pertes en eau (m)</b>	0,2578	0,2663	0,303	0,2978	0,3083

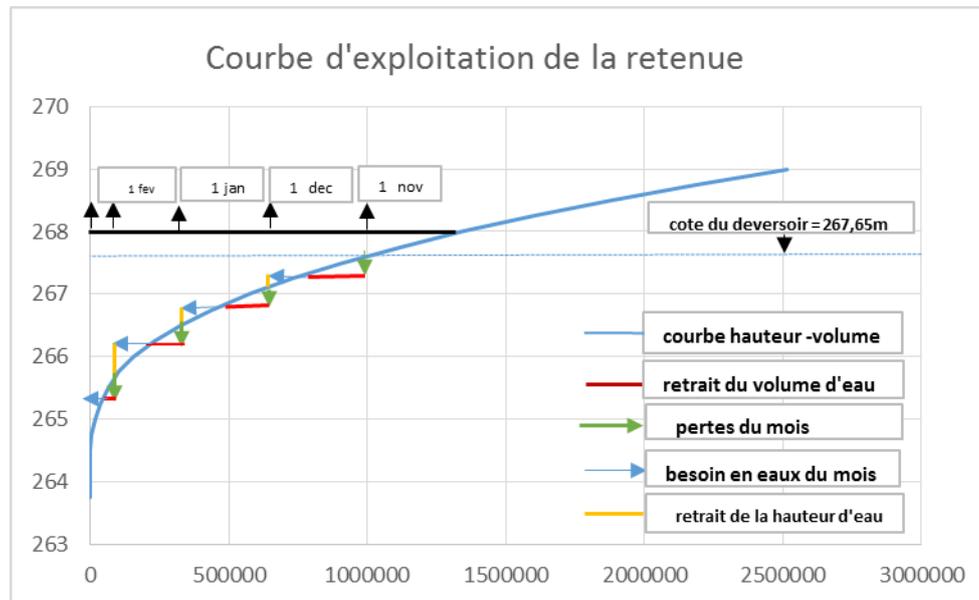


Figure 4: Courbe exploitation de la retenue

### 3.2.2. Etude de la digue et des ouvrages annexes :

#### a) Etude de la digue :

##### ❖ Revanche libre :

La revanche est une tranche d'eau comprise entre le PHE et la crête du barrage. Cette hauteur permet de protéger la digue des risques d'invasion, pour l'estimation de cette revanche, nous utiliserons l'approche simplifiée établi par les chercheurs du comité français des grands barrages.

Après calcul, il sera donc considéré une valeur de la revanche libre à :

$$R = 0,75 \text{ m ( cf Annexe II , page 74 ).}$$

##### ❖ Hauteur de la digue (E) :

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.

Après les calculs la hauteur de la digue vaut  $E = 5 \text{ (m)}$  au droit du lit mineur. Il est donc recommandé une pente de talus amont de 2,5/1 et une pente de talus aval également de 2,5/1.

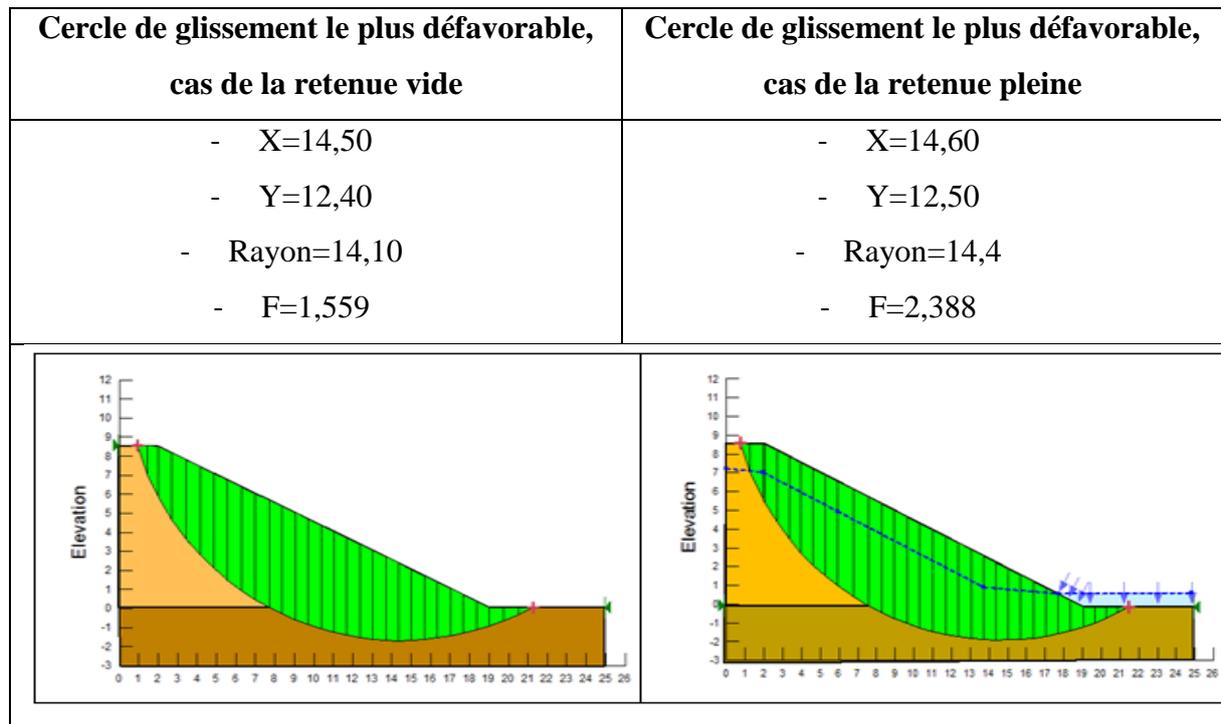
❖ **Vérification de la stabilité de la digue :**

La vérification à l'aide du logiciel Géo-slope nous donne des coefficients de sécurité supérieurs à 1,5 dans les deux cas :

Retenue vide : FS = 1,6

Retenue pleine : FS = 2,3

Nous pouvons donc conclure à la stabilité des talus amont et aval. Ainsi nous gardons les pentes de **1V/2H pour le talus amont et aval.**



*Figure 5 : Cercle de glissement le plus défavorable généré avec GEOSLOPE*

❖ **Largeur de la crête :**

La largeur de la crête est dimensionnée afin de permettre la circulation des engins et facilité l'entretien de l'ouvrage ( GUEYE, 2014). Nous retenons une largeur de crête de :

$$l_c = 4 \text{ m .}$$

❖ **Tranchée d'ancrage :**

La tranchée d'ancrage sera remblayée en matériau étanche bien compacté (OPN), afin de lutter contre les lignes préférentielles d'infiltration le long. Le calcul de la tranchée se fait suivant la

règle de LANE.

La tranchée ancrage sera de forme trapézoïdale, avec comme pente de talus 1H/3V (ce qui facilitera la mise en œuvre par les engins de chantier). **La profondeur obtenue est de 1,5 m, pour une largeur en gueule de 4,6 m au droit du lit mineur.**

❖ **Infiltration à travers la digue et hydraulique interne :**

Cette étude consiste à analyser les conditions d'étanchéité des corps de remblai (Puech et Chabi-Gonni du CIEH, 1983), afin de déterminer les infiltrations, il est impératif d'évaluer les éléments suivants :

- **La ligne de saturation ou ligne phréatique ;**

La méthode utilisée généralement pour les petits barrages est celle de KOZENY. Comme nous l'avons déjà dit, elle donne des résultats approchés ainsi l'équation obtenue est :

$$x = 0,08 y^2 - 2,98 .$$

- **Le débit de fuite de l'eau par infiltration ;**

En appliquant la loi de Darcy, le débit unitaire est  $q = 5,91 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{ml} \cdot \text{s}$ . Ce débit correspond à un débit total d'infiltration de  $Q = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$  et à un volume infiltré de

$V = 31250,18 \text{ m}^3/\text{an}$ , ce qui représente environ 3% du volume de la retenue. Car la longueur de la digue est  $L = 1700 \text{ m}$ .

- **L'épaisseur de drain :**

Il est donné par la formule :

$$e = 2 \cdot \sqrt{\frac{ql}{K_f}}$$

Avec  $q$  : débit

$l$  : longueur du drain

$K_f$  : Perméabilité du sable ( $K_f = 10^{-4} \text{ m/s}$ )

- **Longueur du drain :**

La valeur de  $l$  n'étant pas égale à la longueur totale  $l_a$  du drain-tapis, nous retranchons la longueur de résurgence  $l_r$ .

$$l_d = \frac{l_b}{3,5} \quad \text{avec} \quad K_r : \text{perméabilité du remblai}$$

Pour intercepter les infiltrations dans le massif d'un barrage en terre on dispose habituellement dans la partie aval du massif et au contact de celui-ci avec les fondations, un drain-tapis filtrant destiné à rabattre la ligne phréatique à l'intérieur du massif. Ses caractéristiques sont :

**e = épaisseur = 0,23 m**

**l<sub>d</sub> = longueur totale du drain tapis = 8,28 m**

❖ **Protection de la digue :**

• **Crête :**

La protection sera constituée de matériaux graveleux latéritiques compactés d'une épaisseur de **20 cm**. Elle aura une pente transversale de **3%** vers l'amont pour éviter les stagnations d'eau sur la crête et permettre leur ruissellement vers la retenue.

Du côté aval, il sera aménagé un mur de crête en maçonnerie de moellons de **0,50 m x 0,50 m**, ancré dans la digue de **0,50 m**. Le mur de crête dépassera la cote du couronnement de **10 cm** pour éviter des amorces d'érosion sur le talus aval.

Du côté amont, en lieu et place du mur de crête, il sera aménagé un mur parapet en maçonnerie de moellons de **0,50 m x 1,00 m**, ancré dans la digue de **0,50 m**. Le mur sera équipé de barbacanes de **40 mm** de diamètre pour le drainage de la crête de la digue vers le plan d'eau.

• **Talus amont :**

Le talus amont sera protégé contre le battillage par une couche de perré sec en enrochement de moellons latéritiques ou granitiques de 0,25 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** qui jouera le rôle de filtre inverse.

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

De part et d'autre du déversoir, le perré sera maçonné sur une largeur de **5 m** car ces zones sont les plus sensibles à l'action érosive des eaux.

- Talus aval :

Afin de lutter contre l'action érosive de l'eau, celle des animaux et du vent et de tenir compte des changements climatiques, le talus aval sera également protégé par une couche de perré sec constituée d'enrochements latéritiques ou granitiques de **0,25 m** d'épaisseur soigneusement posés à la main sur une couche de pose de grave latéritique d'une épaisseur de **0,10 m**.

Un fossé drain sera aménagé au pied du talus pour collecter les eaux pluviales et les eaux d'infiltration en provenance du corps de la digue. Il sera revêtu en enrochements soigneusement rangés à la main. C'est un ouvrage triangulaire comme la butée de **1,50 m** de largeur en gueule et **0,80 m** de profondeur.

**b) Evacuateur de crue :**

La digue est de **type routier**, comportant un déversoir-radier. Le déversoir sera en position **centrale**. Il a été calé à la côte PEN, soit **267,65 m**.

❖ **Laminage des crues :**

Le laminage des crues consiste à chercher une solution optimale sur la longueur du déversoir à l'arrivée de la crue de projet. L'objectif du calcul est de définir deux paramètres clés qui sont : la longueur du seuil déversant, la lame d'eau maximale au-dessus du déversoir.

En utilisant la méthode EIER-CIEH (méthode du « x0 »), on détermine la longueur du seuil déversant par itération en fixant la lame d'eau déversante. Par le même procédé, il est possible de se fixer une longueur de seuil déversant, et de déterminer par itération la lame d'eau déversante.

**Longueur du seuil déversant :  $L = 105 \text{ m}$**

**Lame d'eau déversante :  $h = 1 \text{ m}$**

**Débit laminé =  $187,90 \text{ m}^3/\text{s}$**

❖ **Le chenal d'évacuation :**

Les eaux déversées seront acheminées par un chenal d'évacuation longeant le périmètre en rive gauche et délimité par des **diguettes de protection**. Les caractéristiques du chenal ont été définies par les lois d'écoulement en surface libre (*Amadou Lamine MAR, 2004*). Le

détail de calcul est consigné en « **Annexe II** , page 86 ».

*Tableau 22 : Caractéristiques du chenal d'évacuation*

Pente longitudinale (m/km)	5
Pente des talus	1H/1V
Profondeur (m)	2
Ks	25
Largeur en gueule (m)	95
Tirant d'eau maximal (m)	1,04
Débit maximal (m <sup>3</sup> /s)	194
Vitesse d'écoulement (m/s)	3,58

❖ **Bassin de dissipation :**

Le bassin de dissipation est la partie de l'évacuateur qui sert à dissiper l'énergie de chute et son action érosive. Il doit pouvoir contenir le ressaut hydraulique à l'aval.

Les caractéristiques du bassin à ressaut sont les suivants :

*Tableau 23 : Caractéristiques du bassin à ressaut*

Désignations	Symboles	Valeurs
Lame d'eau au-dessus du déversoir	h (m)	1
Hauteur d'eau au PEN	H (m)	4
Enfoncement du bassin	D (m)	0,8
Débit de crue maximal	Q (m <sup>3</sup> /s)	194
Débit unitaire	q (m <sup>3</sup> /s/ml)	1,84
Vitesse d'eau au-dessus du seuil	V <sub>0</sub> (m/s)	1,84
Ligne d'eau	H <sub>0</sub> (m)	3,15
Hauteur de chute	H <sub>c</sub> (m)	1,17
Hauteur de totale	Z (m)	5,17
Tirant d'eau avant ressaut	Y1 (m)	0,194
Vitesse d'eau à l'entrée du bassin	V1 (m/s)	9,47
Froude	Fr	6,8
Bassin retenue	<b>Bassin de type II</b>	
Tirant d'eau conjugué	Y2 (m)	1,77
Longueur du bassin de dissipation	L	5,00

Hauteur de blocs de chute	h1 (m)	0,194
Hauteur du seuil terminal		
Distance entre bloc de chute et bloc chicane (m)	d	1,41
Profondeur du bassin de dissipation (m)	p	1,118

Le détail des calculs pour déterminer les paramètres du bassin de dissipation sont reportés dans les notes de calcul (cf **Annexe II** , page 87 ).

Pour  $Fr > 4,5$  et  $V_1 < 15$  m/s, on adoptera un bassin de type II USBR et on retiendra une longueur de 5 m et une pente 2H/1V. Le bassin de dissipation sera construit en béton ordinaire d'une épaisseur de 0,25 m reposant sur une couche de sable filtrante de 0,1 m d'épaisseur. Il est traversé par une série de barbacanes en PVC de 50 mm, pour l'évacuation des sous pressions et se termine par une brèche aval également en béton ordinaire, de 0,4 m d'épaisseur, et de 1m de profondeur.

Le seuil terminal de 0,27 m de hauteur, termine le bassin de dissipation et sera en béton cyclopéen.

Les caractéristiques des blocs chicanes sont le tableau.

*Tableau 24 : Caractéristiques des blocs chicanes*

Hauteur h <sub>2</sub> (m)	Epaisseur crête e (m)	Largeur en base l (m)	Espacement esp (m)	Pente
0,38	0,076	0,285	0,285	1V/1H

❖ **Détermination de la longueur de protection après le bassin :**

Epaisseur de la couche d'enrochement (  $E_{enrochement}$  )

$$E_{enrochement} \geq 3 * D_{enrochement}$$

$$E_{enrochement} = 0,15 * 3 = 0,45m$$

Nous retiendrons :  $E_{enrochement} = 0,50$  m

Longueur à protéger (  $L_{protection}$  )

$$L_{protection} \geq 2 * L$$

$$L_{protection} = 2 * 5 = 10 \text{ m}$$

$$L_{protection} = 10 \text{ m}$$

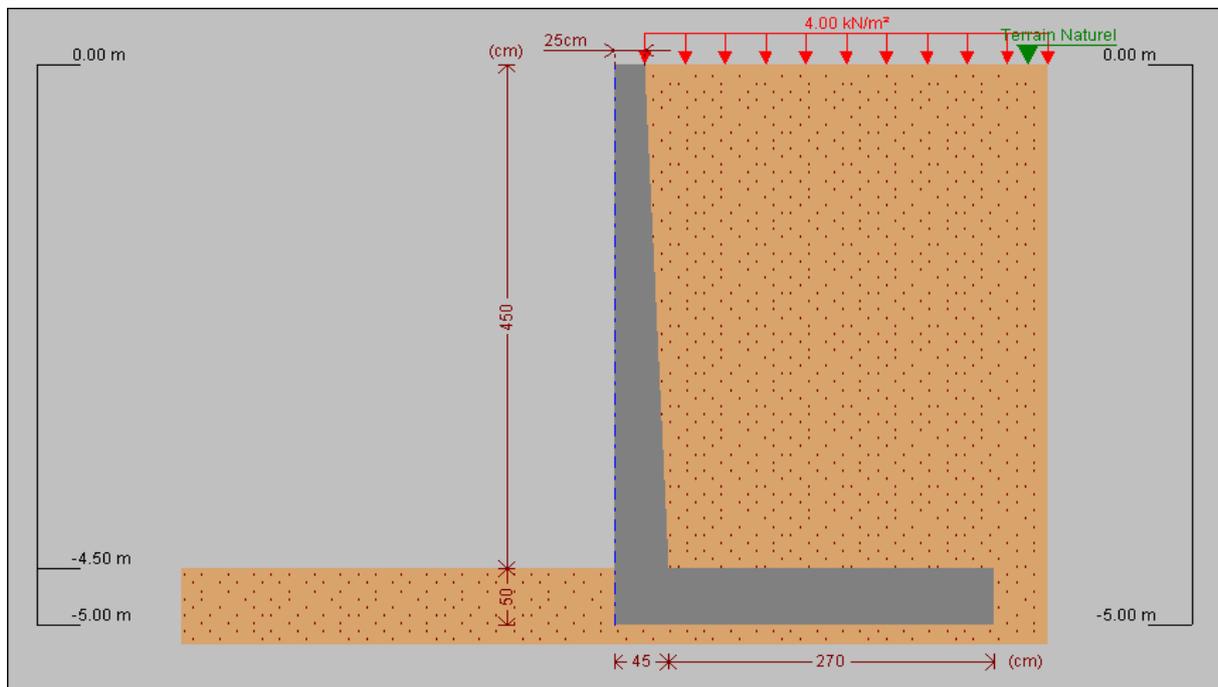
$$\text{Volume enrochements} : 58 * 10 * 0,5 = 290 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume enrochements} = 290 \text{ m}^3$$

❖ **Dimensionnement du mur bajoyer :**

*Tableau 25 : Caractéristiques du mur bajoyer*

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
Hauteur maximale du bajoyer	m	5
Epaisseur du mur à la base bajoyer	m	0,5
Epaisseur crête du bajoyer	m	0,25
Epaisseur de la semelle	m	0,5
Largeur base du mur bajoyer	m	3,15
Hauteur mur bajoyer au-dessus de la semelle	m	4,50



*Figure 6 : Coupe transversale du mur bajoyer*

❖ **Diguettes de protection :**

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). Les diguettes ont les caractéristiques suivantes :

Tableau 26 : Caractéristiques des diguettes de protection

Matériau	Argile compactée
Type	homogène
Cote crête	265,50 m
Longueur	50,00 m
Largeur en crête	3,00 m
Pente talus amont/aval	1 H/1V
Protections talus amont	perré maçonné
Protections talus aval	revêtement latéritique
Protections crête	revêtement latéritique

❖ Etude de la stabilité du déversoir :

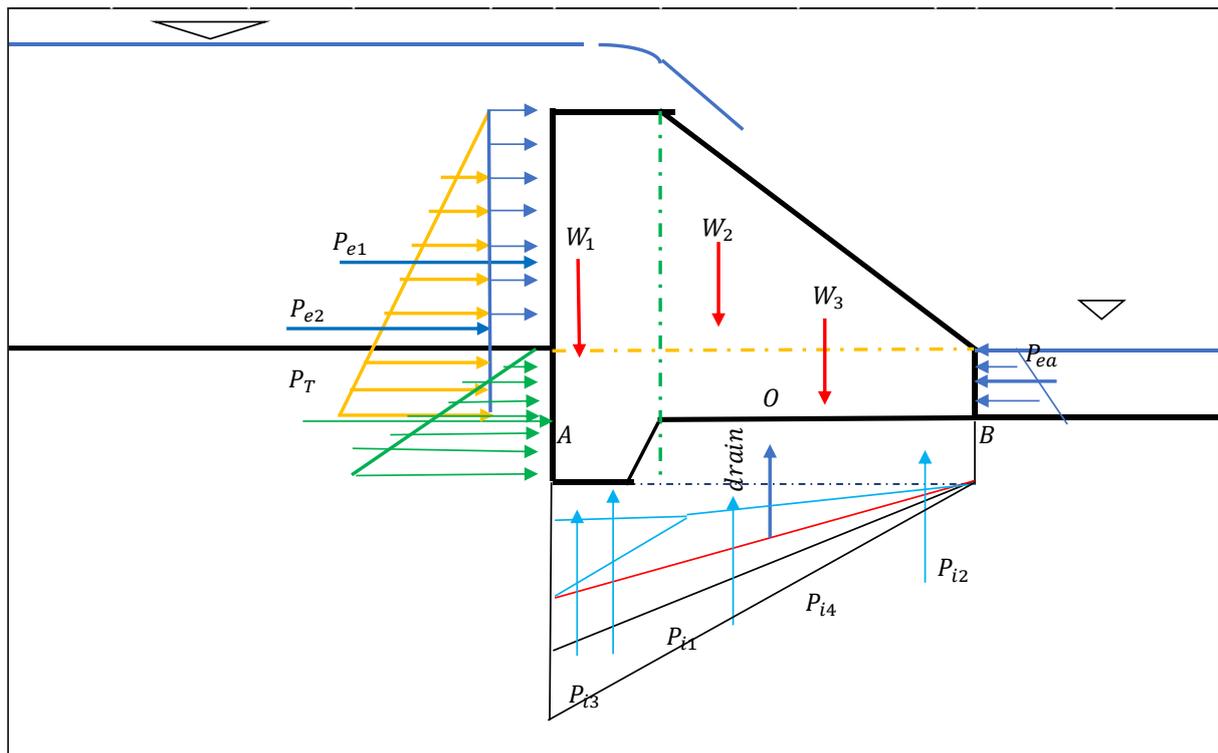


Figure 6 : Schéma des forces.

$W_1, W_2, W_3$  représentent le poids propre du barrage ;

$P_{e1}$  et  $p_{e2}$  représentent la poussée de l'eau ;

$P_t$  représente la poussée des terres amont ;

$P_{ea}$  représente la poussée de l'eau à aval.

Il s'agit d'attribuer à l'ouvrage, des proportions telles que son poids s'oppose avec une marge de sécurité suffisante aux actions déstabilisatrices.

Le déversoir doit résister à la poussée de l'eau, être stable vis-à-vis- du renversement, du glissement sur la fondation, ainsi que du poinçonnement. Les actions mises en jeu sur une tranche latérale de **1 m** du déversoir fait intervenir, le poids propre du déversoir, la poussée hydrostatique amont, les sous-pressions, éventuellement la poussée des sédiments cumulés à l'amont et la poussée hydrostatique aval. Il sera traité ici le cas de charge au **PHE**. Les détails sont répertoriés en note de calcul (voir **Annexe III**, page 97). Les vérifications de stabilité sont résumées dans le tableau 28.

*Tableau 27 : Vérification de la stabilité du déversoir*

Stabilité au glissement	$F_G = \frac{\sum(W - u) \tan\phi}{\sum(P)} \geq 1$	$F_G = 1,06$
Stabilité au renversement	$F_R = \left  \frac{Ms}{Mr} \right  > 1,5$	$F_R = 1,89$
	$\frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6}$ avec $b/6 = 0,18$ m	$e = 0,15$ m
Stabilité au poinçonnement	$\sigma_A = \frac{\sum F_v}{b \times 1m} + \frac{6 \times \sum \text{Moments forces/G}}{b^2 \times 1m} < \sigma_{sol}$ $\sigma_B = \frac{\sum F_v}{b \times 1m} - \frac{6 \times \sum \text{Moments forces/G}}{b^2 \times 1m} < \sigma_{sol}$ <p style="text-align: center;">avec <math>\sigma_{sol} = 150</math> kPa</p>	$\sigma_A = 55,93$ kPa $\sigma_B = 84,91$ kPa

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

**c) Ouvrage de régulation ou de vidange :**

Il servira pour l'irrigation du périmètre à l'aval du barrage. Une dérivation sera installée sur celle-ci et aboutira à des abreuvoirs aménagés spécialement pour le bétail.

Au regard des potentialités des terres irrigables par gravité en aval et par souci de maintenir une charge d'eau suffisante au-dessus de la prise pour permettre de conduire une double campagne agricole à terme, la cote de prise d'eau a été fixée à **265,25 m** pour chaque ouvrage.

Le volume mort sera alors de l'ordre **36276,8 m<sup>3</sup>** avec une tranche d'eau de **1,25 m** de hauteur maximale.

➤ **Type d'ouvrage**

Il est constitué :

- D'un bac d'admission amont dont le seuil est calé à la côte 265,25 m, protégée par une grille métallique ;
- D'une conduite en fonte Ø 500 mm, de longueur 29 m, enrobée du béton armé de 20 cm d'épaisseur, l'entrée de la conduite est équipé d'une crépine de protection.
- D'un regard aval abritant un robinet vanne Ø 500 mm pour le contrôle du débit d'irrigation.

➤ **Ouvrage de Vidange**

L'ouvrage de vidange permet d'évacuer le barrage en cas de besoin soit pour sécuriser le barrage, pour évacuer les dépôts solides ou pour tout simplement effectuer des travaux. Dans notre cas nous optons pour un pertuis avec batardeau comportant un système d'obturation par vanne à glissement.

*Tableau 28 : Caractéristiques de l'ouvrage de vidange*

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
Côte au PEN	m	267,65
Surface au PEN	m <sup>2</sup>	804007,32
Cote de l'ouvrage de Vidange	m	264
Section du Batardeau	m <sup>2</sup>	6,4
Pesanteur	m/s <sup>2</sup>	9,81
Charge d'eau	m	3,65
Temps de Vidange totale	s	108369,47
Temps de Vidange totale	jr	1,26
Nous considérons un temps de vidange de 2 jrs.		

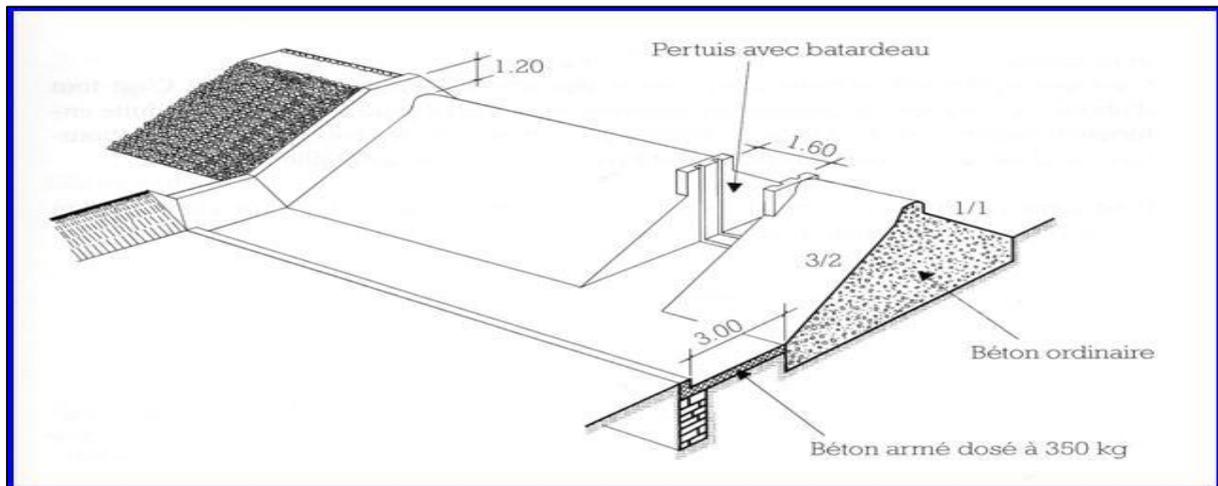


Figure 7 : Ouvrage de vidange

#### 4. AVANT-METRE ET COUT DES TRAVAUX :

L'avant métré est établi sur la base des plans. Le devis estimatif a été proposé sur la base des prix unitaires des travaux similaires réalisés dans la zone du projet. Le coût total des travaux est estimé à **635 777 583 Fcfa**. (Cf. **Annexe IV** , page 113).

#### 5. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL (NIE) :

Les éléments sensibles de l'environnement qui seront les plus affectés par les travaux de chantier sont le sol, les ressources en eau, la végétation (faune et flore), l'air, l'environnement acoustique, les populations riveraines.

##### 5.1.Impacts positifs :

Le projet, une fois réalisé, produira les impacts positifs suivants :

- L'intensification des productions agricole et piscicole ;
- L'amélioration des conditions de vie (qualité nutritionnelle) des populations de la zone du projet ;
- Le renforcement des capacités des producteurs et de leurs structures faîtières ;
- La création d'emplois ;
- Le développement des AGR ;
- L'accroissement des revenus ;
- La fixation des jeunes dans la zone.

### **5.2. Impacts négatifs :**

Les impacts négatifs se répercuteront sur le milieu humain et biophysique. Il s'agit de/des :

- la coupe des arbres et la destruction de certains écosystèmes du milieu ;
- l'insécurité, la pollution de l'air (gaz d'échappement, poussière), nuisances provoquées par la circulation des engins (faible portée et temporaires) ;
- la destruction de biens privés et des habitations situés dans l'emprise ou à proximité du projet impliquant ainsi le déplacement involontaire des populations ;
- accidents d'animaux lors de l'abreuvement si des aménagements ne sont pas prévus pour l'accès à l'eau par les animaux ;
- la pollution de l'eau du barrage ;
- etc...

Des mesures d'atténuation ont, toutefois été identifiées et analysées afin de réduire ou supprimer ces effets négatifs.

### **5.3. Composantes du Plan de gestion Environnemental et Social :**

Dans l'optique de protéger l'ensemble des ressources naturelles et d'impacter au minimum sur l'écosystème, le plan de gestion mis en place se définit sur trois axes:

- des mesures d'atténuation, de compensation ou de bonification des impacts du projet (cf. **Annexe VI** , page 102 ) ;
- un programme de surveillance environnemental ;
- un plan de suivi environnemental.

L'objet de ce plan est de présenter les impacts les plus significatifs, les mesures d'atténuation, tout en présentant les institutions responsables de la mise en œuvre de ces mesures et le coût de celles-ci dans la mesure du possible, la période d'exécution des mesures et les lieux de leur application.

## 6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS :

Le présent projet porte sur l'étude d'avant-projet détaillé du barrage de Kiougou Kandaga. Ledit projet, entrant dans le cadre global de la lutte pour la sécurité alimentaire et l'amélioration des conditions de vie des populations en milieu rural a été initié par le gouvernement Burkinabé, il va permettre à court terme, l'essor socio-économique pour l'ensemble de la commune de Comin-Yanga . Ce barrage s'inscrit en étroite ligne avec les objectifs du développement durable en permettant de lutter contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire dans la région du Sahel.

En effet, il vise d'une part la satisfaction des besoins en eau d'irrigation du riz sur 20 hectares durant la saison pluvieuse. D'autre part, il permettra la satisfaction des besoins en eau des cultures maraichères pendant la saison sèche sur 10 ha.

Notre étude a montré que l'ouvrage permettra de stocker environ de 1 millions de mètres cube. Cette capacité est largement suffisante pour satisfaire en plus des besoins animaux, l'irrigation des 30 ha situés à son aval.

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

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

Le coût des travaux de réalisation du barrage s'élève à six cent trente-cinq millions sept cent soixante-dix-sept mille cinq cents cinquante-trois francs (**635 777 553**) francs CFA TTC.

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

## 7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- ❖ AC3E (2017). *Etude géotechnique (Rapport des essais en laboratoire No. 02). Burkina Faso.*
- ❖ AC3E (2017). *Rapport Notice d'Impact Environnemental et Social. Burkina Faso.*
- ❖ Banque Mondiale (2008). *Agriculture au service du développement. Ouagadougou.*
- ❖ DIENG (2iE ,2007). *Cours d'hydrogéologie et ouvrages de captage.*
- ❖ ALONSO, BECUE, BOLLE, BRODIN (2000). *Les types de barrages en remblai, in : Barrages En Remblai.*
- ❖ PILOT, CARTIER (1964). *Digues et barrages en terre de faible hauteur.*
- ❖ DEGOUTTE (1997). *PETITS BARRAGE : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Cemagref.*
- ❖ COMPAORE (EIER ,1996). *Cours de barrage,*
- ❖ KARAMBIRI (2iE, 2005). *Cours du cycle hydrologique du bassin versant.*
- ❖ KARAMBIRI, GUEYE (2iE, 2006). *Cours de barrage.*
- ❖ INSD-MEF (2010). *Annuaire statistique de l'environnement.*
- ❖ DURAND (EIER ,1996). *Cours de Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique.*
- ❖ DURAND, ROYET, MERIAUX (1998). *Techniques de petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale.*
- ❖ LO (2iE, 2016). *Cours de dimensionnement des barrages.*
- ❖ PCD Comin-Yanga (2009). *Plan communal de la commune de Comin-Yanga.*
- ❖ BERTON (1988). *La maîtrise des crues dans les bas-fonds.*
- ❖ FAO 54. (1996). *Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versant non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche.*
- ❖ PUECH et CHABI-GONNI du CIEH (1983). *Prédétermination des crues de fréquence décennale dans les régions sahéliennes et tropicales sèches.*
- ❖ ROYET, (1994). *La surveillance et l'entretien des petits barrages : guide pratique. CEMAGREF. : ISBN 978-2-85362-383-4.*

**8. ANNEXES :**

8.ANNEXES :	50
ANNEXE I : ETUDE HYDROLOGIQUE :	51
I.1.Délimitation :	51
I.2.Caractéristiques physiques et morphologiques du bassin versant :	51
I.3.Analyses fréquentielles des pluies :	56
I.4.Crue du projet :	60
I.5 Etude des apports :	62
ANNEXES II : ETUDE DE LA RETENU :	64
II.1.Courbe hauteur- volume et hauteur- surface :	64
II.2.Estimation des besoins et des pertes :	66
II.2.1. Estimation des besoins :	66
II.2.2. Estimation des pertes :	70
II.3. Courbe d'exploitation de la retenue :	73
ANNEXES III : ETUDE DE LA DIGUE ET DES OUVRAGES ANNEXES :	74
III.1 Dimensionnement de la digue :	74
III.2 Evacuateur de crue (déversoir).....	84
III.3. Etude de la stabilité du déversoir :	97
ANNEXES IV : PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL :	102
ANNEXES V : METRE ET DEVIS :	109
V.1 Volume de remblai de la digue et de la tranchée :	109
V.2 Devis estimatif et quantitatif des travaux :	113
ANNEXES VI : PLAN ET CARTES :	117

## ANNEXE I : ETUDE HYDROLOGIQUE :

### Caractéristiques du bassin versant :

#### **I.1 Délimitation :**

La délimitation consiste à tracer la ligne de partage des eaux en suivant les lignes de crête tout en rejoignant l'exutoire. Elle a été faite avec le logiciel Global Mapper après localisation du site sur Google Earth. Il offre une lecture précise des lignes de ruissellement et des lignes de partage des eaux.

#### **I.2 Caractéristiques physiques et morphologiques du bassin versant :**

- **Superficie :**

La superficie du bassin versant de Comin-Yanga a été déterminée à partir du logiciel Global Mapper

$$S = 40,29\text{km}^2$$

S comprise entre 10 et 200 km<sup>2</sup>, nous avons à faire avec un petit bassin versant.

- **Le périmètre du bassin :**

Il est également obtenu sur logiciel indique ci-dessus :

$$P = 35,67 \text{ km}$$

- **Indice de forme ou de compacité du bassin versant :**

Il en existe plusieurs. Il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie et permet de comparer entre eux les bassins de superficie identique. Le coefficient de compacité de GRAVELIUS est exprimé formule suivante :

$$k_g = \frac{P}{2(\pi * S)^{-1/2}}$$

$$k_g = 0,282 * \frac{35,67}{2(\pi * 40,29)^{0.5}} = 1,59$$

$$k_g = 1,59$$

Cette valeur de Kg traduit un bassin légèrement allongé.

- **Le rectangle équivalent :**

C'est le rectangle ayant même surface et même périmètre que le bassin versant, sa longueur (L), ainsi que sa largeur (l) sont données par les relations suivantes :

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

$$L = \frac{35,67 + \sqrt{35,67^2 - 16 * 40,29}}{4} = 15,19 \text{ km}$$

**L=15,19 km**

$$l = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4}$$

$$l = \frac{35,67 - \sqrt{35,67^2 - 16 * 40,29}}{4} = 2,65 \text{ km}$$

**l=2,65 km**

- **La densité de drainage :**

La densité de drainage est le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la surface du bassin versant. Elle est déterminée par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum L'_i}{S}$$

$$\sum L'_i = 83,37 \text{ Km}$$

$$D_d = \frac{83,37}{40,29} = 2,07 \text{ km}^{-1}$$

L': longueur totale des cours d'eau (réseau hydrographique du bassin versant).

S : superficie du bassin versant

**D<sub>d</sub> = 2,07 km<sup>-1</sup>**

- **La pente moyenne du cours d'eau :**

Elle est calculée en mesurant la pente du cours d'eau principal (en générale c'est la pente du profil en long du lit mineur)

Nous obtenons une pente moyenne de :

La longueur du cours d'eau principale est  $l_p$  :  $l_p=38,66$  Km

$$I_{\text{moy}} = \frac{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}{l_p}$$

$$I_{\text{moy}} = \frac{302 - 266}{38,66} = 12,97 \text{ m/km}$$

$$I_{\text{moy}} = 1,297\%$$

Selon la classification de l'ORSTOM, nous avons une pente de type R3.

- **Pente transversale moyenne :**

La pente transversale moyenne mesurée sur 4 ou 6 lignes de plus grande pente du bassin versant. Le résultat de détermination de ces pentes est consigné dans le tableau suivant :

*Tableau 29 : Pentes transversales*

	H1	H2	H1-H2	L(Km)	Pente (m/km)
p1	290	285	5	4,10	1,22
p2	295	290	5	4,45	1,12
p3	300	295	5	4,34	1,15
p5	305	300	5	3,76	1,33

$$\text{Moyenne} = I_t = 1,21 \text{ m/km}$$

- **Répartition hypsométrique :**

La courbe hypsométrique du bassin versant donnant le pourcentage de la superficie S du bassin versant située au-dessus d'une altitude donnée H, celle-ci permettra de déterminer Indice global de pente ( $I_g$ ) comme indique sur la figure ci-dessous.

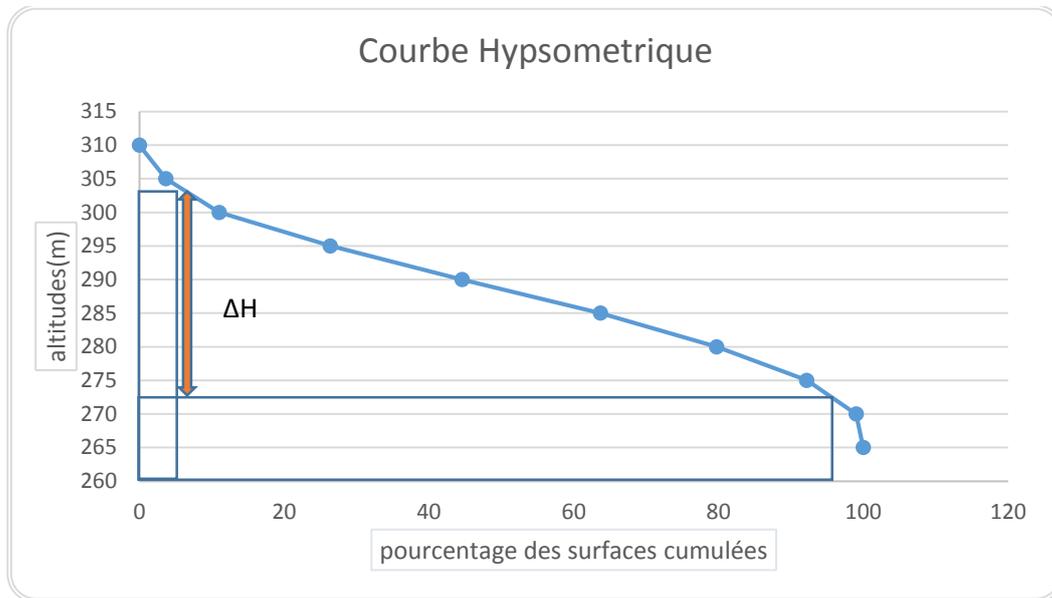


Figure 8: Courbe hypsométrique

- **L'indice global de pente (Ig) :**

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

$$I_g = \frac{\Delta H}{L_{eq}}$$

$\Delta H = 303 \text{ m} - 273 \text{ m} = 30 \text{ m}$  (comme le montre la courbe hypsométrique)

$$I_g = \frac{30}{15,19} = 1,98 \text{ m/km}$$

$$I_g = 1,98 \text{ m/km}$$

- **L'indice global de pente corrigé (IgCorr) :**

La pente transversale est trop différente de la pente longitudinale (>à 20%), on calcule alors un Indice global de pente corrigé ( $I_{gCorr}$ ). Il est donné par l'expression suivante:

$$I_{g_{corr}} = \frac{[(n - 1) * I_g + I_t]}{n}$$

5 < L < 25 km on prendra n = 3 car L = 15,19 km

$$I_{g_{corr}} = \frac{(3-1) \times 1,98 + 1,21}{4} = 1,72 \text{ m / km}$$

**I<sub>g<sub>corr</sub></sub> = 1,72 m / km**

Donc le bassin versant à une pente modérée. Selon la classification de l'ORSTOM, nous avons un relief de Type R3.

*Tableau 30 : Caractéristiques du bassin versant*

Paramètres du bassin	Valeurs	Unité	Observations
climat			sahélien
Superficie	40,29	km <sup>2</sup>	Petit bassin versant
Périmètre	35,679	km	délimité avec le logiciel global mapper
Coefficient de compacité de GRAVELIUS (KG)	1,59		Bassin légèrement allongé
Longueur du rectangle équivalent (L)	15,19	km	
Largeur du rectangle équivalent (l)	2,65	km	
Longueur totale du réseau	83,371	km	déterminée dans global mapper
Hauteur minimale du plus long court d'eau	266	m	
Hauteur maximale du plus long court d'eau	302	m	
Densité de drainage	2,07	km <sup>-1</sup>	
équidistance entre les courbes de niveau	5	m	
longueur totale des courbes de niveau (L)	104,50	km	déterminée dans global mapper
Pente moyenne du bassin	12,97	m/km	
H (5%) - H(95%)	30,00	m	Donné par la courbe hypsométrique
I <sub>g</sub>	1,98	m/km	
I <sub>t</sub>	1,21	m/km	I <sub>t</sub> > (0,2*I <sub>g</sub> +I <sub>g</sub> ) donc besoin de correction
n	3,00		car 5 km <L <25 km

Igcor	1,72	m/km	
Igcor (en %)	0,172	%	
Typologie du relief	//	//	relief faible
Typologie du réseau hydrographique	//	//	dendritique
classe d'infiltrabilité	//	//	RI
Typologie des bassins versant	//	//	Petit bassin versant
Classe du bassin en fonction de la pente	//	//	R

### I.3 Analyses fréquentielles des pluies :

#### Données disponibles :

- ❖ Série des pluies moyennes annuelles : 1970-2016 (36 valeurs retenues)  
Sur cette série, on fera un ajustement par la loi de Gauss qui se justifie par le fait que le mode, la moyenne et la médiane sont proche, et également par la nature des données. **Car on a un échantillon supérieur à 30.**
  
- ❖ Série des pluies maximales journalières : 1970-2016 (37 valeurs)  
Ajustement par la loi de GUMBEL à cause de la nature extrême de la série (tableau).

*Tableau 31 : Pluie moyenne annuelles*

Pluie moyenne annuelle (mm)	806,57
variance	21524,52
écart type	146,71
Mode	797,3
Médiane	796,5
Minimum	542,8
Maximum	1171,1

*Tableau 32 : Ajustement des pluies moyennes annuelles*

période sèche				Période humide	
u	pluie	F(x)	T	1-F(x)	pluie
-1,798	542,8	0,014	74,00	0,986	1171,1
-1,798	542,8	0,041	24,67	0,959	1074
-1,559	577,9	0,068	14,80	0,932	1048,8
-1,266	620,9	0,095	10,57	0,905	1021,9
-1,043	653,5	0,122	8,22	0,878	1016
-1,005	659,1	0,149	6,73	0,851	994,2
-0,971	664,1	0,176	5,69	0,824	952,9
-0,844	682,7	0,203	4,93	0,797	940,7
-0,738	698,3	0,230	4,35	0,770	911,8
-0,634	713,6	0,257	3,89	0,743	897,6
-0,611	717	0,284	3,52	0,716	845,1
-0,433	743,1	0,311	3,22	0,689	831,7
-0,381	750,6	0,338	2,96	0,662	829,5
-0,235	772,1	0,365	2,74	0,635	827,9
-0,196	777,8	0,392	2,55	0,608	813,2
-0,154	784	0,419	2,39	0,581	804,5
-0,150	784,5	0,446	2,24	0,554	797,9
-0,142	785,8	0,473	2,11	0,527	797,2

*Tableau 33 : Ajustement des pluies journalières maximales*

période sèche				période humide		
F(x)	u	Xp	T	1-F(x)	u	xp
0,01	-1,46	33,84	74,00	0,99	4,30	131,21
0,04	-1,16	38,83	24,67	0,96	3,18	112,40
0,07	-0,99	41,76	14,80	0,93	2,66	103,52
0,09	-0,86	44,02	10,57	0,91	2,31	97,58
0,12	-0,75	45,93	8,22	0,88	2,04	93,08
0,15	-0,65	47,62	6,73	0,85	1,83	89,43
0,18	-0,55	49,17	5,69	0,82	1,64	86,34
0,20	-0,47	50,62	4,93	0,80	1,48	83,64
0,23	-0,39	52,00	4,35	0,77	1,34	81,25
0,26	-0,31	53,33	3,89	0,74	1,21	79,08
0,28	-0,23	54,63	3,52	0,72	1,10	77,09
0,31	-0,16	55,90	3,22	0,69	0,99	75,24
0,34	-0,08	57,15	2,96	0,66	0,89	73,52

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA,  
COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA –FASO).

0,36	-0,01	58,39	2,74	0,64	0,79	71,89
0,39	0,07	59,63	2,55	0,61	0,70	70,34
0,42	0,14	60,88	2,39	0,58	0,61	68,86
0,45	0,21	62,15	2,24	0,55	0,53	67,44
0,47	0,29	63,42	2,11	0,53	0,45	66,07
0,50	0,37	64,73	2,00	0,50	0,37	64,73
0,53	0,45	66,07	1,90	0,47	0,29	63,42

La crue est caractérisée par un débit de fréquence rare exprimant une augmentation instantanée de volume d'eau qui transite par le cours d'eau. Pour des raisons de sécurité la crue de projet adoptée est celle que l'ouvrage doit être capable d'évacuer sans dommages. Le bassin versant faisant l'objet d'étude est un bassin versant non jaugé car ne dispose pas de dispositif de mesure de débit. Par conséquent pour l'estimation des crues et des apports il sera adopté les méthodes empiriques, CIEH, ORSTOM, et de Gradex.

❖ **Paramètre :**

- Coefficient d'abattement (VUILLAUME) :  
 $A = 1 - 0,001(9 \log_{10} T - 0,042 P_{an} + 152) \log_{10} S = 0,81$
- Pluie journalière décennale (atlas CIEH) :  $P_{j10} : 97,6 \text{ mm}$
- Pluie journalière décennale abattue :  $PM_{10} = A P_{10} = 79 \text{ mm}$
- Coefficient de ruissellement décennal :

$$K_{r70} \text{ ou } K_{100} = \frac{a}{(S + b)} + c \quad \text{Et} \quad T_{b10} = a \times S^{0,35} + b \quad \text{en fonction du type de climat et de la}$$

superficie du bassin versant. Pour  $I_{g\text{corr}} = 1,98 \text{ m/km}$ , il faut procéder par interpolation pour obtenir les différents paramètres nécessaire au calcul du coefficient de ruissellement et du temps de base. En zone tropical sèche paramètres utilisés sont les consignés dans les tableaux ci-dessous :

*Tableau 34 : Détermination du  $K_{r70}$*

<b>Kr70</b>	Ig	a	b	c
	7,00	200,00	20,00	18,50
	1,72	134,00	20,00	13,88
	3	150	20	15

Tableau 35 : Détermination du  $Kr_{100}$

<b>Kr100</b>	Ig	a	b	C
	7,00	240,00	30,00	22,00
	1,72	187,20	30,00	15,40
	3,00	200,00	30,00	17,00

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

$$Kr_{10} = 16,2 \times \frac{15,40 - 13,88}{(100 - 70)} + (97,6 - 70)$$

<b><math>Kr_{10} = 17,89</math></b>
-------------------------------------

Tableau 36 : Détermination du temps de base

<b>Ig</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>Tb10</b>
3	325	315	1544,57
1,72	376,83	370,35	1796,00
7	163	142	758,68

Le temps de base **Tb10 = 1796,00 mn** soit 29,93 h

En zone tropical sèche le temps de monté est  $Tm_{10} = 0,33 \cdot Tb_{10}$  (cf. tableau).

Tableau 37 : Temps de base

Tm10	598,67	mn
	9,98	h

#### I.4 Crue du projet :

##### Détermination de la crue décennale par les méthodes ORSTOM et CIEH :

###### ➤ Méthode ORSTOM :

L'ORSTOM a fait une évaluation des ressources en eau non pérennes du Mali où il a déterminé par mesure hydrométrique ou par reconstitution "utilisation de modèle" les paramètres d'écoulement nécessaires pour le calcul de la lame d'eau et de la crue décennale.

Elle s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km<sup>2</sup>, relevant de la zone sahélienne et de la zone tropicale sèche

La zone d'étude étant située en zone sahélienne, avec un bassin peu boisé d'une couverture assez abondante et une pente du terrain relativement faible on admet que le bassin versant appartient à la classe RI (P3) des catégories de perméabilité.

*Tableau 38 : Détermination de la crue décennale par ORSTOM*

Paramètres	Valeurs	Unité	Observations
Surface du bassin versant	40,29	km <sup>2</sup>	
Périmètre	35,67	Km	
pluie annuelle (Pan)	994,36	mm	
A: coefficient d'abattement	0,81		
P10 (pluie journalière décennale)	<b>96,59</b>	mm	
Pluie journalière décennale abattu(Pm10)	78	mm	
Kr10	0,1789	17.89	
Volume ruisselé décennal (Vr10)	565229,25	m <sup>3</sup>	
Temps de montée Tm10	598,67	mn	0,33*tb10
temps de base Tb10	1796	mn	107760,1074
Débit moyen ruisselé décennal (Qmr10)	5,2	m <sup>3</sup> /s	
coefficient de pointe décennal α10	2,6		
Qr10 (débit de retour décennal)	13,6	m <sup>3</sup> /s	
Qret (débit due à l'écoulement retardé)	4,5	m <sup>3</sup> /s	FAO 54
Ig	1,72		
Q10	<b>60,9</b>	m <sup>3</sup> /s	

La valeur de **Q<sub>10</sub> ORSTOM = 60,9 m<sup>3</sup>/s**

➤ **Méthode CIEH « où méthode statistique » :**

Elle a été établie sur la base d'un échantillon de 162 bassins versants répartis en Afrique francophone, peut être employée sur des bassins allant jusqu'à 1000 km<sup>2</sup>, relevant de la zone tropicale sèche ou sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et du Centre.

*Tableau 39 : Détermination de la crue décennale par CIEH*

	a	s	i	pm	k	Q
Eq n°39	0,41	0,425			0,923	28,3
Eq n°40	0,254	0,462	0,101		0,976	24,7
Eq n°41	0,407	0,532			0,941	43,9
Eq n°42	0,0912	0,6343	0,399		1,019	22,3
Eq n°43	35600	0,342		-1,81		47,7
Eq n°44	203	0,459		-1,3	0,813	39,8
Eq n°45	22400	0,363	0,059	-1,75		43,5
<b>débit moyen</b>						<b>35,7</b>

La valeur retenue est celle de la tendance moyenne, soit **Q10 (CIEH) = 35,7 m<sup>3</sup>/s**

➤ **Débit de crue décennal retenue :**

Les deux méthodes (ORSTOM et CIEH) de prédétermination, nous donne des valeurs du même ordre de grandeur ; Au regard des différentes valeurs et vue l'étendue du bassin versant et de la sécurité recherchée, nous pouvons donc adopter une valeur maximale, soit le débit de crue de la méthode CIEH.

**Q10 (ORSTOM) = 61 m<sup>3</sup>/s**

➤ **Débit de projet :**

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

$$Q_{100} = C * Q_{10} \quad \text{avec}$$

$$C = 1 + \frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} * \frac{(Tb/24)^{0.12}}{Kr_{10}} \quad \text{pour une sécurité maximale.}$$

C : est un coefficient de sécurité représentant le risque accepté au dépassement de Q10.

Le choix de ce paramètre important revient à l'ingénieur aménagiste et sera fait en fonction de la sécurité recherchée de l'ouvrage et de son coût.

La prise en compte du coefficient doit tenir compte de la durée de vie minimale de notre ouvrage étant fixée à 30 ans et les biens qui pourraient être endommagés en cas de rupture du barrage pouvant être considérables (village, vergers, valorisation...). Dans notre cas, une rupture éventuelle de l'ouvrage affectera les habitations.

$$\text{Or : } \frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} = 0,38, \quad \text{d'où : } C = 3,2.$$

Donc,

$$Q_{100} = 194 \text{ m}^3/\text{s}$$

### I.5 Etude des apports :

#### ❖ La Méthode de COUTAGNE :

$$D = P - \lambda P^2 \quad \text{avec } \lambda = 1 / (0,8 + 0,14T)$$

$$T = \text{Température moyenne annuelle} = 28,3^\circ\text{c}$$

$$P = \text{Pluviométrie moyenne annuelle} = 0,80657 \text{ m}$$

$$D = \text{déficit pluviométrique} = 0,670$$

$$\text{On vérifie que } 1 / (8\lambda) < P < 1 / (2\lambda)$$

$$\text{Le coefficient d'écoulement est donné par } K_e = (P-D)/P$$

AN : nous obtenons

$$D = 0,670 \text{ m}$$

$$K_e = 16,9 \%$$

La lame d'eau effectivement écoulee  $L_e$  est donnée par :

$$L_e = K_e * P$$

Le volume des apports est donné par :

$$V_{\text{apports}} (m^3) = L_e * S * 1000$$

Nous obtenons :

$$K_e = 16,9 \%$$

$$L_e = 136,6 \text{ mm}$$

$$\underline{V_{\text{apports}} = 5\,504\,172 \text{ m}^3/\text{an}}$$

❖ **Vérification du remplissage en année quinquennale sèche et décennale sèche**

$$V_{\text{apports}} = K_e * P_{\text{an}} * 1000 * S_{\text{BV}}$$

En année quinquennale sèche

$$K_{e5} = 0,7 * K_{em} \text{ soit } K_{e5} = 0,12$$

$$\underline{V_{\text{apports}} = 652\,593 \text{ m}^3}$$

En année décennale sèche

$$K_{e10} = 0,5 * K_{em} \text{ soit } K_{e10} = 0,46$$

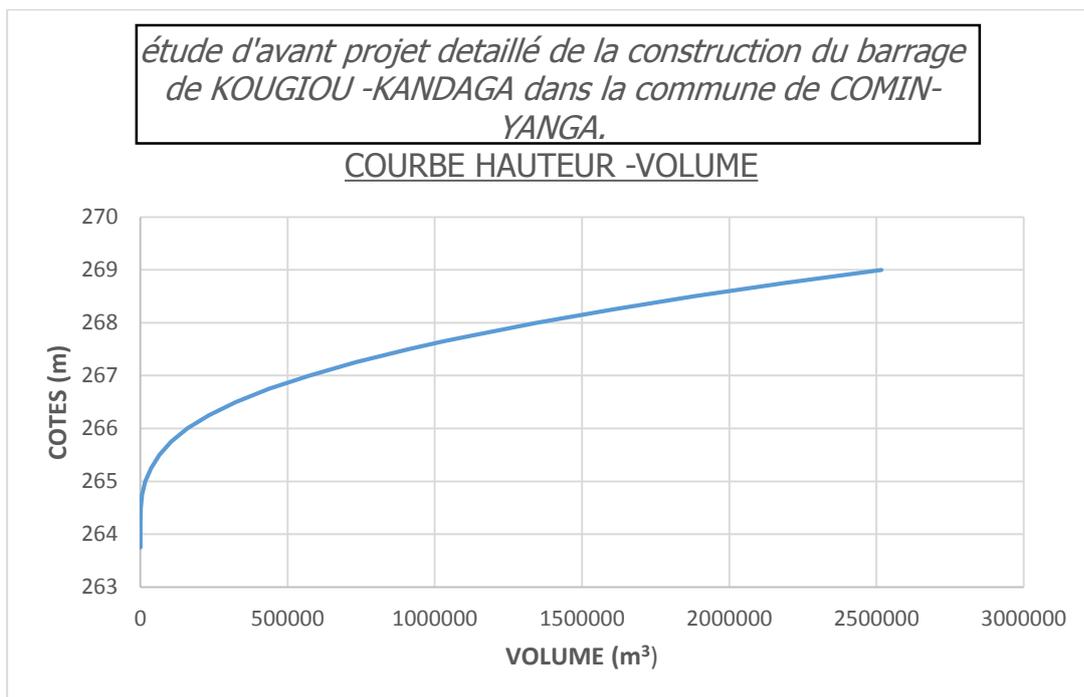
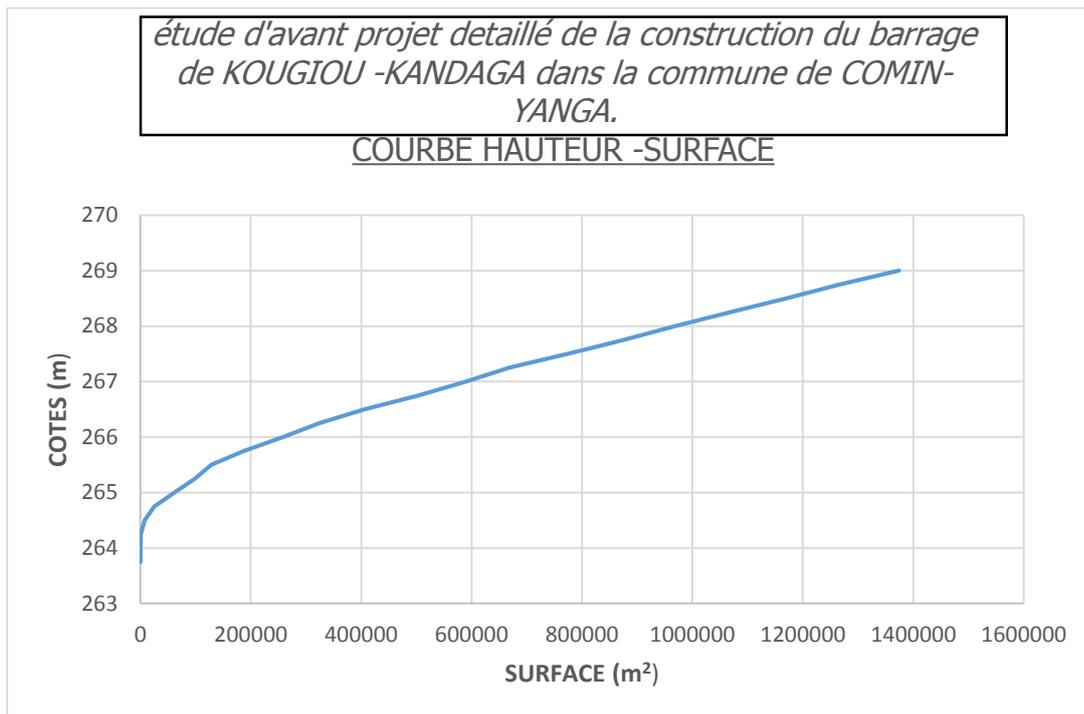
$$\underline{V_{\text{apports}} = 466\,138 \text{ m}^3}$$

**ANNEXES II : ETUDE DE LA RETENU :**

**II.1 Courbe hauteur- volume et hauteur- surface :**

*Tableau 40 : Tableau des côtes et volumes cumulés*

<b>cotes (m)</b>	<b>Hauteurs(m)</b>	<b>surfaces partielles (m<sup>2</sup>)</b>	<b>surfaces moyennes</b>	<b>volumes partiels</b>	<b>volumes cumulés (m<sup>3</sup>)</b>
263,75	0,25	0	0	0	0
264	0,25	0	0	0	0
264,25	0,25	984,0546	492,0273	123,0	123,0
264,5	0,25	7842,5662	4413,3104	1103,3	1226,3
264,75	0,25	25119,6655	16481,11585	4120,3	5346,6
265	0,25	61841,6485	43480,657	10870,2	16216,8
265,25	0,25	98638,3486	80239,99855	20060,0	36276,8
265,5	0,25	129115,3486	113876,8486	28469,2	64746,0
265,75	0,25	187861,8762	158488,6124	39622,2	104368,1
266	0,25	257849,1059	222855,4911	55713,9	160082,0
266,25	0,25	324146,2041	290997,655	72749,4	232831,4
266,5	0,25	404944,6171	364545,4106	91136,4	323967,8
266,75	0,25	504050,5404	454497,5788	113624,4	437592,2
267	0,25	589220,6814	546635,6109	136658,9	574251,1
267,25	0,25	668297,1113	628758,8964	157189,7	731440,8
267,5	0,25	773 213,74	720755,4281	180188,9	911629,7
<b>267,65</b>	<b>0,15</b>	<b>834800,9</b>	<b>804007,3224</b>	<b>120601,1</b>	<b>1032230,8</b>
267,75	0,1	875859,0147	855329,9574	85533,0	1117763,7
268	0,25	968509,5279	922184,2713	230546,1	1348309,8
268,25	0,25	1067251,512	1017880,52	254470,1	1602779,9
268,5	0,25	1170306,445	1118778,978	279694,7	1882474,7
268,75	0,25	1266121,644	1218214,044	304553,5	2187028,2
269	0,25	1 374 157,96	1320139,803	330035,0	2517063,2



## II.2 Estimation des besoins et des pertes :

### II.2.1. Estimation des besoins :

#### ❖ Besoins agricoles :

L'estimation des besoins agricoles se fait suivant un calendrier cultural, en conformité avec le souhait des paysans, qui s'étend :

- ✓ De novembre à mars pour les cultures maraichères ;
- ✓ De Juin à octobre pour le riz pluvial.

Les cultures concernées sont :

- La riziculture pluviale sur 20 ha
- Le maraîchage en saison sèche (oignon) sur 10 ha.

Les valeurs des paramètres permettant d'estimer les besoins des cultures sont donnés par les équations suivantes :

<p>➤ si <math>P \geq 20 \text{ mm}</math> Alors</p> $P_e (\text{mm}) = P - (0,15 * (P - 20)) \quad (13)$ <p>➤ <math>P_e (\text{mm}) = P</math> si <math>P &lt; 20 \text{ mm}</math> (14)</p> <p>➤ <math>B_n = K_c * ET_0 - P_e \quad (15)</math></p> <p>➤ <math>B_b = \frac{B_n}{e} \quad (16)</math></p>	<p><math>P</math>= Pluviométrie moyenne mensuelles (mm)  <math>P_e</math>= Pluie efficace (mm) Source <b>IRAT (Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières (Paris – France))</b>.  <math>K_c</math>= Coefficient cultural de la plante  <math>ET_0</math>= Evapotranspiration de référence (mm)  <math>e</math>= Efficience du système d'irrigation  <math>B_n</math>= Besoins nets (mm)  <math>B_b</math>= Besoins bruts (mm)</p>
---	---

Ainsi, le calcul effectué sur l'oignon (culture la plus contraignante pour le maraîchage) nous donne les résultats ci-dessous :

En considérant que l'efficience  $e = 0,6$  et la superficie de maraîchage égale à **10 hectares**, on a le résultat représenté par le tableau suivant (voir en résultats) :

*Tableau 41 : Besoins agricoles de Kiougou –Kandaga*

Mois	novembre	décembre	janvier	février	mars
<b>Durée</b>	30	31	31	28	31
<b>kc équivalent</b>	0,63	0,95	1,05	0,98	0,85
<b>ET0 (mm/j)</b>	5,77	5,42	6	6,19	6,77
<b>ETM (mm/j)</b>	3,6	5,15	6,3	6,07	5,75
<b>ETM (mm)</b>	109,1	159,6	195,3	169,9	178,4
<b>P (mm)</b>	2,1	0,3	0,2	0,9	4,9
<b>Pe (mm)</b>	2,1	0,3	0,12	0,9	4,9
<b>pe (mm/j)</b>	0,07	0,01	0,004	0,03	0,16
<b>Bn(mm) = ETM - Pe</b>	107,0	159,3	195,2	169,0	173,5
<b>Besoins nets (m<sup>3</sup>/ha)</b>	1070	1593	1952	1690	1735
<b>BESOINS NETS TOTAUX par campagne (m<sup>3</sup>) =somme des besoins nets x Superficie (ha)</b>					<b>80 390</b>

**NB** : Les mêmes méthodes de calculs sont effectuées pour le riz (sur les 20 hectares), mais avec des coefficients cultureux différents.

❖ **Besoins pastoraux :**

Les besoins en eau pastoraux ont été estimés à partir du nombre de bétail à desservir et de la consommation qui est de 40 litres/jour/UBT pour le gros bétail et 5 litres/jour/UBT pour le petit bétail. La population d'UBT a été actualisée à l'aide de l'équation 20 suivante avec des taux d'accroissement qui sont respectivement de 2% et 3% (**Source : Statistiques du Secteur de l'élevage au Burkina Faso Animaux, 2008**) :

$P_n = P_o (1 + Tx)^n \quad (20)$	P <sub>n</sub> = population à l'échéance du projet P <sub>o</sub> = population initiale n = nombre d'année Tx = taux d'accroissement
-----------------------------------	---

L'étude socioéconomique nous donne les résultats suivant concernant le bétail en 2017 :

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA,  
COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA –FASO).

---

N°	Gros bétail : Bovins, Asins, Equidés, Autres	Petit bétail : Ovins, Caprins, Autres
Totaux (UBT)	566	833
<b>Moyennes</b>	<b>11</b>	<b>17</b>

*Source : Enquêtes ménages KIOUGOU KANDAGA, bureaux d'études AC3E/GERTEC, août 2017.*

L'actualisation de ces résultats à l'échéance du projet, grâce à l'équation ci-dessus nous donne le résultat suivant :

gros bétail (2047)	17320 UBT
petit bétail (2047)	25740 UBT

Le tableau récapitulatif des besoins pastoraux à l'horizon du projet est représenté par le tableau ci-dessous visible en résultats.

*Tableau 42 : Besoins pastoraux de Kiougou-Kandaga*

mois	jours	gros bétail (m <sup>3</sup> )	petit bétail (m <sup>3</sup> )	besoins total (m <sup>3</sup> )
novembre	30	20784	3861	24644
décembre	31	21476	3990	25466
janvier	31	21476	3990	25466
février	29	20091	3732	23823
mars	31	21476	3990	25466
avril	30	20784	3861	24644
mai	31	21476	3990	25466
juin	30	20784	3861	24644
juillet	31	21476	3990	25466
Aout	31	21476	3990	25466
septembre	30	20784	3861	24644
octobre	31	21476	3990	25466
<b>total</b>	<b>366</b>	<b>253559</b>	<b>47104</b>	<b>300663</b>

❖ **Besoins domestiques :**

Le projet de retenue d'eau est conçu pour une échéance de 30 ans. La population, à cet horizon sera:

$$P_{2047} = P_{2017} * (1 + \bar{a})^{30} \quad \text{Avec} \quad \bar{a} = 2,5\% = \text{taux d'accroissement de la population}$$

Or  $P_{2017} = 13407$  habitants

D'où  $P_{2047} = 13407 * (1 + 2,5\%)^{30} = 28\,122$  habitants

**$P_{2047} = 13\,570$  habitants**

Les besoins en eau en milieu rural sont estimés à : 20 l/j/habitant au maximum de novembre à octobre. On suppose que 1/4 de la population utilise l'eau du barrage étant donné qu'il existe des forages dans les localités, ainsi on peut estimer que le nombre d'habitants utilisant l'eau du barrage est de : **7032 habitants**.

Le tableau ci-dessous donne l'évolution des besoins humains au pas mensuel :

*Tableau 43 : besoins domestiques*

Mois	nombre de jours	besoins humains (m3)
Janvier	31	4359
Février	29	4078
Mars	31	4359
Avril	30	4219
Mai	31	4359
Juin	30	4219
Juillet	31	4359
Aout	31	4359
Septembre	30	4219
Octobre	31	4359
Novembre	30	4219
Décembre	31	4359
<b>Total</b>	<b>366</b>	<b>51467</b>

Tableau 44 : Estimation des besoins et Hypothèses de simulation de la retenue de Kiougou-Kandaga

Hypothèses de simulation (Besoins)	Domestiques		Pastoraux			Agricoles		Efficience d'irrigation
	Nhbts.	7031	Ntêtes			Riz (ha)	20	
	Cs (l/jr/hbt)	20	Cs (l/jr/tête)	5 (petit bétail)	40 (gros bétail)	Maraichage (ha)	10	

Besoins pastoraux et domestiques													
Mois	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Total
Nbre de jours	30	31	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	<b>366</b>
Besoins mensuels (m <sup>3</sup> )	28863	29825	29003	29544	29825	28042	29825	28863	29825	29003	29685	29825	<b>352128</b>
Besoins agricoles pour la riziculture													
Besoins bruts (m <sup>3</sup> /ha)								1610	1400	918	1480		<b>5 408</b>
Besoins agricoles pour le maraîchage													
Besoins bruts (m <sup>3</sup> /ha)	1070	1593	1952	1690	1735								<b>8039</b>
Besoins agricole (m <sup>3</sup> )	<b>403 410</b>												
Somme de tous les besoins													
Besoins (m <sup>3</sup> )	<b>755 530</b>												

### II.2.2. Estimation des pertes :

❖ **Pertes par infiltration :**

Les pertes par infiltration dépendent de la nature du sol de la cuvette. L'infiltration d'une retenue est variable dans le temps. Les mesures faites sur les bassins versant en Afrique subsaharienne par l'ORSTOM donnent des valeurs comprises entre 1 et 5 mm/j ; Notre site se trouvant en zone sahélienne nous décidons de prendre une valeur de 3 mm/jour. Elles sont représentées comme suit :

*Tableau 45 : Pertes par infiltration de Kiougou-Kandaga*

mois	Nov.	déc.	jan	fév.	mars	avril	mais	juin	juil.	aout	sep	oct.	total
<b>jours</b>	30	31	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	<b>366</b>
<b>infiltration (mm)</b>	90	93	93	87	93	90	93	90	93	93	90	93	<b>1098</b>

❖ **Pertes par évaporation :**

Elles sont évaluées par les estimations de BERNARD POUYOT de l'ORSTOM :

<b><math>Elac = 1,664 * Ebac A^{0,602}</math> (21)</b>	Elac : évaporation du plan d'eau mm/j) Ebac A : évaporation au bac A (mm/j)
--	--

Nous obtenons les valeurs de l'évaporation durant les périodes d'exploitation de la retenue dans le tableau ci-dessous (voir résultats).

*Tableau 46 : Pertes par évaporation de Kiougou –Kandaga*

Mois	Durée (j)	Evaporation bac "A" (mm)	Evaporation Lac (mm)
novembre	30	233,8	171,8
décembre	31	221	168,3
janvier	31	219,9	167,8
février	28	248,2	173,3
mars	31	320,5	210,5
avril	30	328,3	210,8

mai	31	332,8	215,3
juin	30	280,6	191,8
juillet	31	225,9	170,5
septembre	30	186,6	150,0
octobre	31	240,3	177,0
Total		<b>2159,0</b>	

#### ❖ Dépôts solides

➤ Formule de l'EIER-CIEH

$$D = 700 (P/500)^{-2,2} * s^{-0,1}$$

$$D = 223,23 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$$

S est la dégradation spécifique; P = 994,36 mm, S = 40,29 km<sup>2</sup>

Le volume de l'envasement est :

$$V_e = D * S$$

$$V_e = 8994,002 \text{ m}^3/\text{an}$$

Par comparaison au volume de la retenue, il faudra environ 50 ans pour que la retenue soit complètement envasée ; ce qui est envisageable avec la durée de vie de l'Ouvrage de 30 ans.

Temps d'envasement TE = **50 ans**.

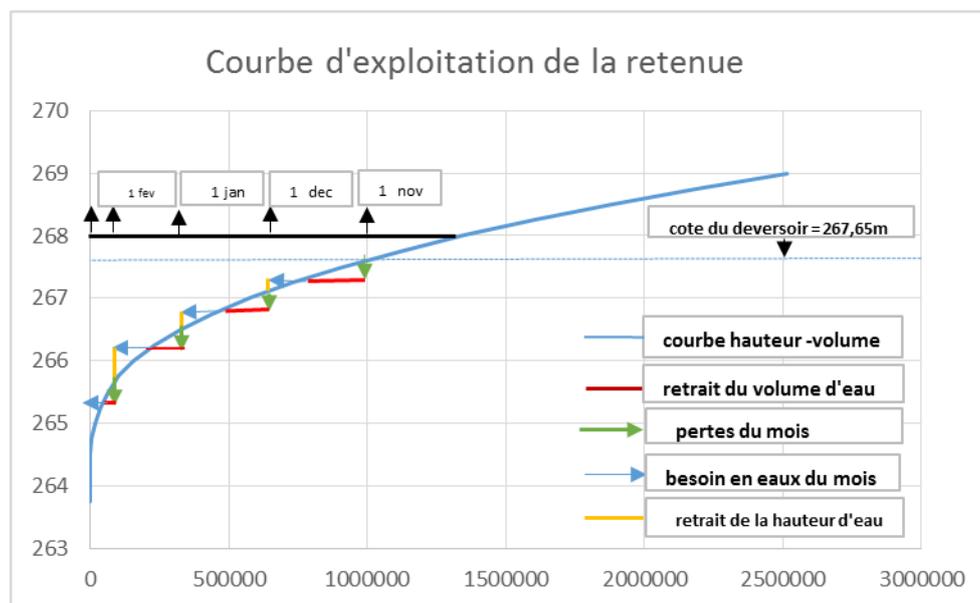
#### ❖ Simulation pour la courbe d'exploitation de la retenue

Etant donné que la riziculture est effectuée en saison des pluies, nous considèrerons que la retenue est exploitée uniquement en saison sèche (**lors du maraichage**), ainsi on aura les résultats suivants permettant de tracer la courbe d'exploitation de la retenue :

Tableau 47 : Récapitulatif des pertes et des besoins

mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
<b>Besoins</b>					
maraichage (m <sup>3</sup> /ha)	1070	1593	1952	1690	1735
maraichage (m <sup>3</sup> )	10700	15930	19520	16900	17350
besoin du Cheptel (m <sup>3</sup> )	24644	25466	25466	23823	25466
sommes besoins en eau (m <sup>3</sup> )	35344	41396	44986	40723	40723
<b>perdes</b>					
perdes par évaporation (mm)	167,8	173,3	210,5	210,8	215,3
perdes par infiltration (mm)	90	93	93	87	93
sommes pertes en eau (mm)	257,8	266,3	303,5	297,8	308,3
somme pertes en eau (m)	0,2578	0,2663	0,303	0,2978	0,3083

### II.3 . Courbe d'exploitation de la retenue :



**ANNEXES III : ETUDE DE LA DIGUE ET DES OUVRAGES ANNEXES :**

**III.1 Dimensionnement de la digue :**

❖ **Revanche libre :**

La revanche libre (R) est une tranche comprise entre le PHE et la crête du barrage. Cette hauteur appelée revanche permet de protéger la digue des risques de débordement. Le calcul de la revanche tient compte de la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau et la projection de l'eau vers le haut du barrage due à la vitesse de propagation des vagues lorsque celles-ci rencontrent le barrage.

Pour ce calcul, nous utiliserons les formules de **MOLITOR et GAILLARD**.

**Formule de MOLITOR :**

Pour  $f > 30$  km,  $h = 0,032\sqrt{f}$

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

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

Dans le cas de notre barrage nous prendrons  $f = 1,54$  km représentant la longueur des vagues (déterminée sur le bassin versant) . La vitesse maximale du vent à la station de Ouagadougou Aéroport est  $U = 2,7$  m/s soit environ 10 km/h (la station synoptique la plus proche).

$$h = 0,76 + 0,032\sqrt{2,7 * 1,54} - 0,26 * \sqrt[4]{1,54} = 0,536 \text{ m}$$

**$h = 0,536$  m.**

**Formule de GAILLARD :**

Elle est donnée par :

$R = 0,75(h + (1,5 + 2h)^2 / 2g)$
-----------------------------------

En faisant l'application numérique, on aura :

$$R = 0,75 * 0,536 + (1,5 + 2 * 0,536)^2 / 2 * 10 = 0,73 \text{ m}$$

On retiendra une valeur de  $R = 0,75 \text{ m}$

D'où

$R = 0,75 \text{ m}$
----------------------

❖ **Hauteur de la digue (E) :**

La hauteur de la digue est la cote normale de la retenue des eaux majorées de la lame d'eau au-dessus du déversoir et de la revanche et elle est calculée à partir de la formule suivante :

$E = H + h + R$
-----------------

$E$  = hauteur totale de la digue en m

$H$  = hauteur normale de la retenue en m

$h$  = la lame d'eau au-dessus du déversoir = 1 m

$R$  = revanche en m

$$H = \text{PEN} - \text{cote de fond} , \text{ avec PEN} = 267,65 \text{ m et cote de fond} = 264,50 \text{ m}$$

$$H = 267,65 - 264,50 = 3,15 \text{ m}$$

$$R = 0,75 \text{ m}$$

$$h = 1 \text{ m}$$

$$E = 3,15 + 0,75 + 1 = 4,9 \text{ m}$$

Nous prendrons donc  $H = 5 \text{ m}$

$$E = \text{Hauteur totale de la digue} = 5 \text{ m}$$

Après les calculs, la hauteur de la digue vaut  $E = 5$  (m) au droit du lit mineur. Il est donc recommandé une pente de talus amont de 2/1 et une pente de talus aval également de 2/1.

❖ **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 peut être calculée par la formule de KNAPPEN ou par la formule de PREECE .

✓ **Formule de KNAPPEN** :  $l_c = 1,65 \sqrt{E}$  avec  $l_c$  = largeur de la crête (m) et  
E = hauteur de la digue

en faisant l'application numérique, on aura :  $l_c = 1,65 *(5)^{0.5} = 3,68$  m

Ainsi  $l_c = 3,68$  m

✓ **Formule de PREECE** :  $l_c = 1,1 (E)^{0.5} + 1$ , avec E = hauteur de la digue

En faisant l'application numérique on a :  $l_c = 1,1*(5)^{0.5}+1 = 3,45$  m

Ainsi  $l_c = 3,45$  m

**Nous retiendrons une largeur de crête de  $L = 4$  m**

❖ **Largeur en fondation :**

Elle est donnée par la formule :

$L_f = L_c + (m_{amont} + m_{aval}) * H_D$  avec :  $L_c$ =largeur en crête de la digue (m)

$L_c$ =largeur en crête de la digue (m)

$m_{amont}$  = (Fruit de berge amont) = 2,5

$m_{aval}$  = (Fruit de berge aval) = 2,5

$H_D$ =hauteur de la digue (m)

En faisant l'application numérique, on a :

$L_f = 4+(2,5+2,5)*5 = 29$  m , **Donc  $L_f = 29$  m**

❖ **Tranchée d'ancrage du parafouille :**

La tranchée d'ancrage est en général réalisée pour assurer une bonne étanchéité au niveau de l'assise. La tranchée d'ancrage sera remblayée en matériau étanche bien compacté (OPN), afin de lutter contre les lignes préférentielles d'infiltration le long. Le calcul de la tranchée se fait suivant la règle de LANE :

$$P_{min} = \frac{CH - \sum L_h / 3 - \sum L_v}{2}$$

Avec :

$P_{min}$  : Profondeur minimale de la tranchée d'ancrage du déversoir (m)

$L_v$  : longueur verticale

$L_h$  : longueur horizontale

H : la hauteur d'eau en amont du déversoir

C : coefficient de LANE dépendant de la nature du sol de fondation. Les sondages géotechniques montrent l'existence d'un sol argileux A6 ou A4 de faible consistance sur l'axe de l'ouvrage. **C=3**

La tranchée d'ancrage sera de forme trapézoïdale, avec comme pente de talus 1H/3V (ce qui facilitera la mise en œuvre par les engins de chantier). La profondeur obtenue est de **1,5 m**, pour une largeur en gueule de **4,6 m**.

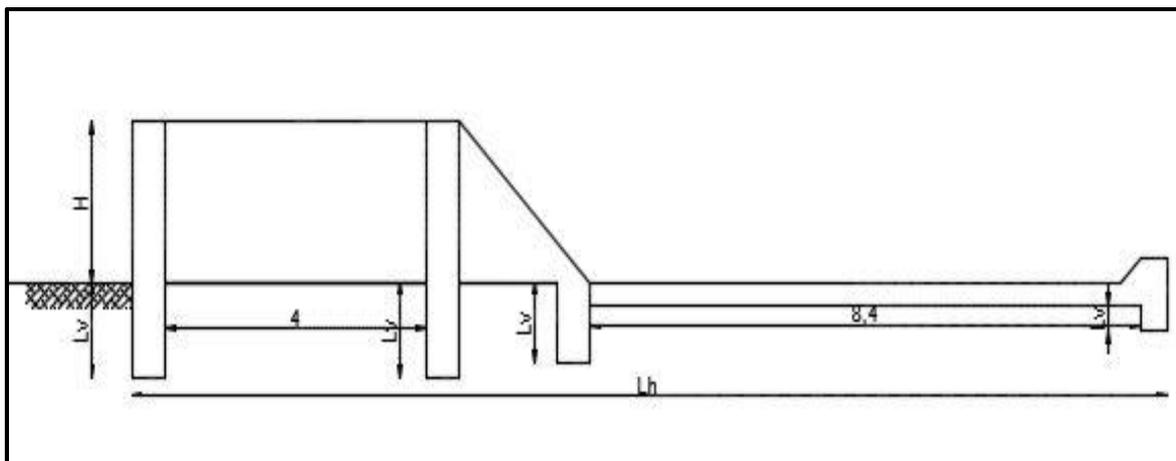


Figure 9 : Tranchée d'ancrage

**Tranchée de para fouille :**

Les para fouille sont calculées suivant la règle de LANE ci-dessous.

$L_v + 1/3L_h \geq CH$  avec,

$L_v$  = longueur des cheminements verticaux,  $L_v = 3,3$  m

$L_h$  = longueur des cheminements horizontaux,  $L_h = 3,6$  m

C = coefficient qui dépend de la nature du terrain, (C= 3 sol argileux)

H = hauteur d'eau en amont du déversoir, H = 1 m

$L_v + 1/3L_h = 3,3 + 1/3 * 3,6 = 4,5 \geq CH = 3,00$  m.

La profondeur de tranchée para fouille est de **1,5 m**.

Sa profondeur minimale est de **0,75 m**.

❖ **Infiltration à travers la digue et hydraulique interne**

Cette étude consiste à analyser les conditions d'étanchéité des corps de remblai (Puech et Chabi-Gonni du CIEH, 1983), les infiltrations peuvent être évaluées à l'aide des éléments suivants :

- La ligne de saturation ou ligne phréatique ;
- Le débit de fuite de l'eau par infiltration ;
- L'épaisseur du drain.

✓ **La ligne de saturation ou ligne phréatique :**

La méthode utilisée généralement pour les petits barrages est celle de KOZENY .Comme nous l'avons déjà dit, elle donne les résultats approchés. Dans le cas d'une digue homogène drainée, reposant sur une assise imperméable, KOZENY a montré que la ligne de saturation est une parabole d'axe horizontal, dont le foyer est l'extrémité amont du drain ,auquel se raccorde la ligne phréatique .



$$\text{A.N } L = 4 + 5(2,5+2,5) = 24 \text{ m} \quad \mathbf{L = 29 \text{ m}}$$

▪ **Calcul de la longueur de drain :**

Elle est estimée par la formule suivante :

$$l_d = \left(\frac{1}{3} \text{ à } \frac{1}{4}\right) * L$$

$$\text{Soit } l_d = \frac{1}{3,5} * L$$

Avec

L : l'emprise de barrage

$l_d$  : longueur du drain .

$$\text{AN : } l_d = \frac{1}{3,5} * 29 = 8,28 \quad \text{soit } \mathbf{l_d = 8,28 \text{ m}}$$

▪ **Calcul de (b)**

C'est la projection horizontale de la ligne mouillée du talus amont .Elle est défini par la formule suivante :

$$\mathbf{b = (H - R) * \frac{1}{\text{tga}_1}}$$

Avec : H : Hauteur totale du barrage (H = 5m )

R : revanche libre (R = 0,75 m ) et  $\text{tga}_1 = 1/2$  : pente du talus amont

$$\text{AN : } b = (5-0,75)*2,5 = \mathbf{10,62 \text{ m}} \quad \mathbf{b = 10,62 \text{ m}}$$

▪ **Calcul de (d)**

Il est calculé par la formule suivante :

$$\mathbf{d = L - l_d - 0,7b}$$

$$\text{AN : } d = 29 - 8,28 - 0,7*10,62 = 13,28 \text{ m} \quad \mathbf{d = 13,28 \text{ m}}$$

▪ **Calcul de ( $y_o$ )**

La formule permettant le calcul de  $y_o$  dépend de l'angle  $\alpha$ . Ainsi :

$$\text{Si } \alpha > 30^\circ \quad \text{alors } y_o = \sqrt{hr^2 + d^2} - d$$

$$\alpha < 30^\circ \quad \text{alors } y_1 = \sqrt{hr^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - hr^2 * \text{cotg}\alpha^2}$$

ou  $h_r = H - R$ ,  $x = l_d$  et  $y_o$  ou  $y_1 = h_r$  : selon l'équation de KOSENY

Avec :

H : hauteur totale de barrage (H = 5 m) ; R : La revanche libre de la digue (R= 0,75m) .

Dans notre cas, nous avons  $\alpha = 26,8^\circ$  donc  $\alpha < 30^\circ$  et nous pouvons écrire que :

$$y_1 = \sqrt{hr^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - hr^2 * \cot g \alpha^2}$$

$$y_1 = \sqrt{4,25^2 + 13,28^2} - \sqrt{13,28^2 - 4,25^2 * 2,5^2} = 11,979 - 7,29 = 4,68 \text{ m}$$

$$y_1 = 5,97 \text{ m} .$$

D'où l'équation du débit de fuite :

$$x = \frac{y^2 - y_1^2}{2 * y_1} = \frac{y^2 - 5,97^2}{2 * 5,97} = \frac{y^2 - 35,64}{11,94} = 0,08 y^2 - 2,98$$

L'équation de saturation est donc :  $x = 0,08 y^2 - 2,98$

✓ **Evaluation du débit de fuite**

**Méthode 1** : METHODE DE LA PARABOLE DE KOZENY

Pour l'estimation du débit de fuite, nous utiliserons la méthode de la parabole de KOZENY

Tout comme pour  $y_o$ , la formule permettant de calculer le débit de fuite varie en fonction de l'angle  $\alpha$  .

- Si  $\alpha > 30^\circ$  alors  $q = K_r * y_o$
- Si  $\alpha < 30^\circ$  alors  $q = K_r * y_1 * (\sin \alpha)^2$

Dans notre cas ,  $\alpha = 26,8^\circ$  donc  $\alpha < 30^\circ$  et nous pouvons donc écrire :

$$q = K_r * y_1 * (\sin \alpha)^2$$

Avec  $K_r$  : coefficient de perméabilité du remblai (en matériau argileux). Les études géotechniques du site d'emprunt du remblai révèlent une perméabilité moyenne

$$K_r = 10^{-7} \text{ m/s (Monrouré SAWADOGO, 2014)}$$

$q$  = débit par mètre linéaire,  $q$  ( $\text{m}^3/\text{ml} * \text{s}$ )

$$q = 10^{-7} * 5,97 * (\sin 26,8)^2 = 5,91 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{ml} * \text{s} \quad \mathbf{q = 5,91 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{ml} * \text{s}}$$

**Méthode 2** : La loi d DARCY

L'application de la loi de Darcy permet d'évaluer approximativement le débit de fuite à travers le corps du barrage .Pour un mètre linéaire du barrage .la loi de Darcy s'écrit comme suit :

$$\mathbf{q = K_r * s * i = K_r * s * \frac{h_r}{L_1}}$$

Avec

q : débit par mètre linéaire du barrage

s : surface unitaire mouillée du parement amont du barrage, s (m<sup>2</sup>)

K<sub>r</sub> : coefficient de perméabilité du remblai = 10<sup>-7</sup>m/s

h<sub>r</sub> : la hauteur d'eau dans la retenue = 3,65 m

L<sub>1</sub> = Longueur moyenne des lignes de courant .Elle est prise comme étant la distance séparant l'extrémité amont du drain horizontal et le centre de la digue mouillée du parement amont.

▪ **Calcul de la longueur L<sub>1</sub> (m)**

Elle est calculée comme suit :

$$\mathbf{L_1 = d + 0,2b}$$

$$\text{A.N : } L_1 = 13,28 + 0,2 * 10,62 = 15,4 \text{ m} \quad \mathbf{L_1 = 15,4 \text{ m}}$$

▪ **Calcul de la surface unitaire mouillée s (m<sup>2</sup>)**

Elle est calculée par la formule suivante :

$$\mathbf{s = (1 \text{ mètre linéaire}) * \sqrt{b^2 + h_r^2}}$$

$$\text{AN : } s = 1 * \sqrt{10,62^2 + 4,25^2} = 11,43 \text{ m}^2$$

▪ **Débit par mètre linéaire du barrage q est calculé comme suit :**

$$\text{AN : } q = 10^{-7} * 11,43 * (4,25/13,28) = 3,66 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} * \text{ml}$$

$$\mathbf{q = 3,66 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} * \text{ml}}$$

**N.B** : Nous retiendrons la valeur la plus contraignante du débit de fuite .Donc la valeur retenue du débit de fuite à travers le corps du remblai retenu pour la suite des calculs est :

$$q = 5,91 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{ml} \cdot \text{s}$$

Au bout de 12 mois de service, on aura un volume de fuite V tel que :

$V=q \cdot L \cdot t$  Avec L : longueur de la digue, L=1700 m , t = temps en seconde (s)

A.N.  $V = 5,91 \cdot 10^{-7} \cdot 1700 \cdot 12 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 3600 = 24481,95 \text{ m}^3$

Sachant que le volume de la retenue est de  $1\ 032\ 230,8 \text{ m}^3$

Le volume infiltré représente 3 % du volume de la retenue au plan d'eau normal.

**REMARQUE** : Nous constatons que le débit de fuite calculé pour la digue est faible, mais pas négligeable, d'où la nécessité d'évacuer cette eau hors des fondations, car elle devient un danger pour la stabilité de l'ouvrage .D'où la nécessité d'envisager un dispositif de protection contre ces eaux.

✓ **Drain et filtre dans le corps de la digue**

Dans les barrages en terre , constitués de matériaux plus ou moins imperméables , l'eau de la retenue a tendance à s'infiltrer dans la digue et les fondations pour venir resurgir à l'aval .Bien que le choix des matériaux de construction a été fait de manière à limiter au maximum les débits d'infiltration .

En absence de certaines précautions, ces infiltrations peuvent compromettre la sécurité de l'ouvrage et sa stabilité .Ainsi, à défaut de stopper ,il est nécessaire de réduire les débits d'infiltrations et de se contrôler par la mise en place d'un dispositif de drainage en filtre de pieds horizontal ou drain tapis de sable .Ceci permettra d'éviter la formation de renard et d'empêcher la saturation du talus aval de la digue et par conséquent les résurgences à l'aval des eaux infiltrées .Pour cela ,nous ferons recours à un filtre ou (drain) de pieds horizontal encore appelé **drain –tapis** .

$$e = 2 * \sqrt{\frac{ql}{K_f}}$$

q : débit  
l : longueur =  $l_d - l_r$   
 $K_f$  : Perméabilité du filtre =  $10^{-4}$  m/s

$$l_r = q / K_r$$

$K_r$  = perméabilité du remblai  
 $l_r$  : longueur de résurgence

$$l_r = 5,91 * 10^{-7} / 10^{-7} = 5,91 \text{ m} \quad \mathbf{l_r = 5,91 \text{ m}}$$

$$l = l_d - l_r$$

$$\text{A.N : } l = 8,28 - 5,91 = 2,22 \text{ m} \quad \mathbf{l = 2,37 \text{ m}}$$

Ce qui permet de calculer l'épaisseur du drain :  $e = 2 * \sqrt{\frac{ql}{K_f}}$

$K_f$  : coefficient de perméabilité du sable Les systèmes de drainage sont constitués de matériaux ayant une forte perméabilité ( $K_f = 10^{-4}$  m/s).

$$\text{AN : } e = 2 * \sqrt{\frac{5,91 * 10^{-7} * 2,37}{10^{-4}}} = \mathbf{0,23 \text{ m}} \quad \mathbf{e = 0,23 \text{ m}}$$

Comme la valeur de e est inférieure à la valeur minimale, nous adopterons l'épaisseur minimale de **0,50 m**.

### III.2 Evacuateur de crue (déversoir)

La digue est de type routier, comportant un déversoir-radier. Le déversoir sera en position **latérale**. Il a été calé à la côte PEN, soit **267,65 m**.

#### ❖ Laminage des crues :

Le laminage des crues consiste à chercher une solution optimale sur la longueur du déversoir à l'arrivée de la crue de projet. L'objectif du calcul est de définir deux paramètres clés qui sont : la longueur du seuil déversant, la lame d'eau maximale au-dessus du déversoir.

En utilisant la méthode EIER-CIEH (méthode du « x0 »), on détermine la longueur du seuil déversant par itération en fixant la lame d'eau déversante. Par le même procédé, il est possible

de se fixer une longueur de seuil déversant, et de déterminer par itération la lame d'eau déversante.

Le problème de laminage peut être traduit par équation différentielle suivante

$$Q_c(t) - Q_e(z) dt = A(z)dz$$

Loi de débit  $Q_{cmax} = m * L1 * \sqrt{2g} * h^{3/2}$  (seuil dénoyé)

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

Avec :

$L_{approx}$  = longueur du seuil déversant (m)

$Q_{cmax}$  = débit de la crue du projet =  $Q_{100} = 193,7 \text{ m}^3/\text{s}$

$m$  = coefficient du débit du seuil déversant (profil trapézoïdal) pris égal à **0,4h**

$g$  = accélération de la pesanteur  $10 \text{ m.s}^{-1}$

$h$  = lame au-dessus du seuil pris égal à 1 m.

En faisant l'application numérique, on a :

$$L_{approx} = 193,7 / (0,4 * (2 * 10)^{0,5} * 1^{3/2}) = 108,3 \text{ m}$$

$$L_{approx} = \mathbf{108,3 \text{ m}}$$

$$X_{01} = \frac{m^2 * g * L1^2 * Q_{cmax} * t_m^3}{S^3}$$

Avec :

$m$  : coefficient de débit du seuil déversant (profil trapézoïdal), pris égal à 0,4

$g$  : accélération de la pesanteur ( $\text{m/s}^2$ ) =  $10 \text{ m/s}^2$

$L1$  : longueur du seuil déversant (m), modifiée à chaque pas d'itération

$Q_{cmax}$  : débit de la crue de projet ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) :  $193,7 \text{ m}^3/\text{s}$

$Tm$  : temps de montée des eaux, estimé au tiers du temps de base, soit  $598,67 \text{ s}$

$S$  : surface du plan d'eau normal ( $\text{m}^2$ ) :  $834 800,9 \text{ m}^2$ .

$$Q_{emax} = \beta_1 * Q_{cmaxi}$$

Pour déterminer la longueur du déversoir ainsi que le débit laminé, on introduit la première valeur de  $L_1 = L_{approx}$  dans l'équation de  $X_{01}$ , connaissant les autres paramètres de l'équation, on calcule  $X_{01}$ ,  $\text{LOG } X_0$ ,  $Q_{emax}$ , puis la nouvelle valeur de  $L$ . Ensuite, on procède à des itérations jusqu'à l'obtention des résultats souhaités, comme le montre le tableau ci-dessous :

*Tableau 48 : Méthode du point  $X_0$  --- Longueur du déversoir en (m)*

itérations	Li(m)	Xo	LogXo	β	Qe (m/s)	Lf (m)
1,00	108,30	0,00116	-2,94	0,96	185,95	103,95
2,00	103,95	0,00107	-2,97	0,97	187,89	105,03
<b>3,00</b>	<b>105,03</b>	<b>0,00109</b>	<b>-2,96</b>	<b>0,97</b>	<b>187,89</b>	<b>105,03</b>

Ainsi, on obtient les paramètres suivants :

- Longueur du seuil déversant =  $L = 105$  m
- Hauteur d'eau au-dessus du seuil =  $h = 1$  m
- Débit laminé =  $187,90 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**❖ Le chenal d'évacuation :**

Pour le calcul, nous utiliserons la formule de la débitante donnée par Manning-

Strickler pour une section trapézoïdale. La formule nous donne ainsi :

$$\frac{Q}{\sqrt{I}} = K_S * \frac{Y_n((b+mY_n))^{5/3}}{(b+2mY_n)^{2/3}}$$

$Q$  : débit de crue =  $Q_{100}$  = débit maximal =  $193,7 \text{ m}^3/\text{s}$  ;

$Y_n$  : tirant d'eau normal (m)

$I$  : pente de 5/1000 ;  $m$  : fruit de berges, pris égal 1 ;

$b$  : base du chenal = 94 m

$K_s$  : coefficient de rugosité de Manning Strickler, pris égal à 25 (béton lisse avec joints)

$D$  : débitante

La relation du débit est une équation implicite pour le paramètre  $y_n$ . La résolution d'une telle équation peut se faire de façon numérique

Les étapes de l'itération sont résumées dans le tableau suivant :

*Tableau 49 : Détermination du tirant d'eau maximal par itération*

Ks	25,0	Y (m)	b (m)	S (m <sup>2</sup> )	P (m)	Rh	Q/VI	delta	V (m/s)
penne I	0,0	1	95	60	97	0,61856	3266,87	527,54088	3,22833
Debit Q	194	1,01	96	59	98,02	0,60192	3154,56	415,22367	3,28305
D(y)	2739,9	1,02	99	58	101,04	0,57403	3004,55	265,21551	3,33966
Vmax(m/s)	5,0	1,03	98	57	100,06	0,56966	2937,73	198,40157	3,39825
m	1,0	1,031	97	56	99,062	0,5653	2871,46	132,13148	3,45893
		1,032	96	55	98,064	0,56086	2805,39	66,05466	3,52182
		1,04	95	54	97,08	0,55624	2739,25	-0,085785	3,58704
		1,041	94	51	96,082	0,5308	2507,55	-231,7782	3,79804
		1,042	93	92	95,084	0,96757	6749,98	4010,6513	2,10543
		1,043	92	91	2178	0,04178	821,785	-1917,546	2,12857

Après une série de simulation, nous avons abouti à la valeur de :  $Y_n = 1,04 \text{ m}$  avec une

vitesse de  $v = 3,58 \text{ m/s}$  pour un débit maximal de  $194 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### ❖ Bassin de dissipation :

Que ce soit à la traversée d'un déversoir ou au bas d'un coursier d'évacuateur, les eaux arrivent au bas de l'ouvrage avec une énergie cinétique importante qu'il s'agit de dissiper le plus possible à l'intérieur du liquide lui-même plutôt que le fond ou les rives de talweg ce qui entrainerait à la longue un déchaussement de l'ouvrage évacuateur. Dans ce but, on fait suivre les ouvrages évacuateurs d'un ouvrage dit de dissipation ou de tranquillisation.

Il existe plusieurs types dont le plus fréquemment employé est le bassin à ressaut (cf. fig. 19 ci-dessous). Le bassin à ressaut est un moyen très efficace pour réduire la vitesse de sortie à une valeur compatible avec la stabilité des berges à l'aval (**G.T.P.B.A.R, 1974**) . Ce bassin permettra d'amortir l'énergie de chute et son action érosive. Il devra pouvoir contenir le ressaut hydraulique à l'aval.

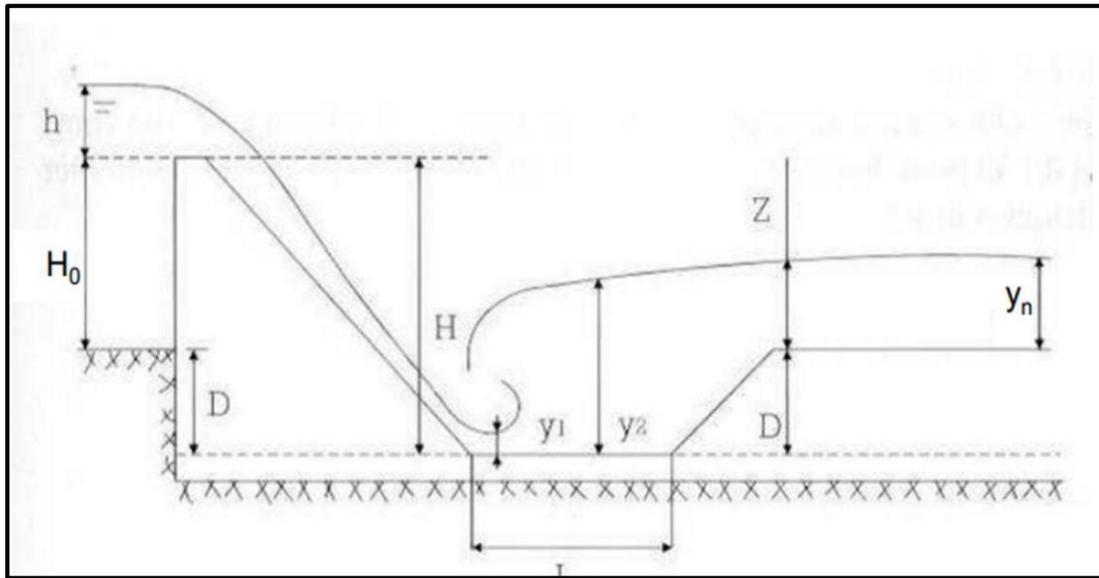


Figure 11 : Evacuateur muni d'un bassin à ressaut

- **Détermination des paramètres D, Fr et  $y_2$  :**

Les paramètres de bases pour les calculs sont :

- ✓ **La valeur de  $H_0$  (pelle maximale du Déversoir) :** elle est calculée en tenant compte du plan d'eau normal (PEN) et de la cote de fond de la retenue. Le plan d'eau normal étant fixé à 267,65 m et les cotes de fond à 3,15 m, on aura :

$$H_0 = \text{PEN} - \text{cote de fond} \quad H_0 = 267,65 - 264,25 = 3,15 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_0 = 3,15 \text{ m}}$$

- ✓ **La lame déversant** est fixée à  $h = 1 \text{ m}$

Par ailleurs, le débit unitaire est donné par :

$$q = \frac{Q}{L} \quad \text{ou,}$$

**Q :** débit de crue du projet = 193,07 m<sup>3</sup>/s

**L :** longueur du déversoir = 105 m

$$q = 193,07 / 105 = 1,838 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\mathbf{q = 1,838 \text{ m}^3/\text{s}}$$

✓ **Enfoncement du bassin D :**

Vitesse de l'eau au-dessus du seuil est :  $V_0 = \frac{q}{h}$  Ainsi,  $V_0 = 1,838 / 1 = 1,84$  m/s

$$V_0 = 1,84 \text{ m/s.}$$

Le tableau suivant ainsi que l'abaque nous permettront de déterminer la valeur de l'enfoncement du bassin **D**.

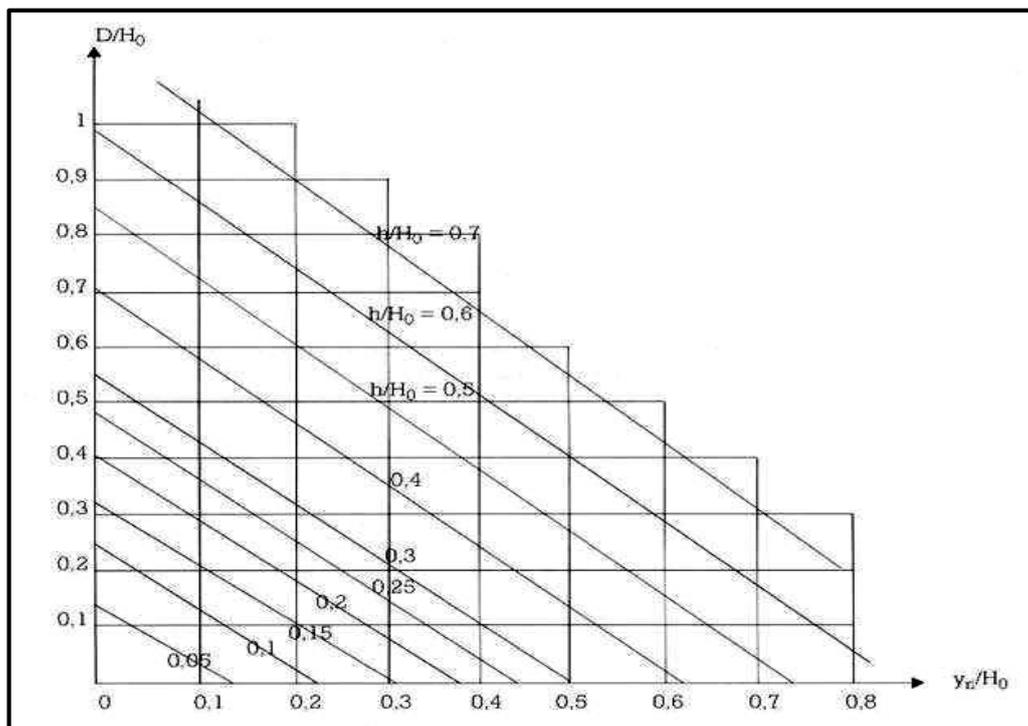
*Tableau 50 : Paramètres de calcul de l'enfoncement du bassin*

<b>yn (m)</b>	<b>h (m)</b>	<b>H<sub>0</sub> (m)</b>	<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>q (m<sup>3</sup>/s/ml)</b>	<b>V<sub>0</sub> (m/s)</b>
1,04	1	3,15	10	1,838	1,84
<b>h/H<sub>0</sub></b>	<b>yn/H<sub>0</sub></b>	<b>D/H<sub>0</sub></b>	<b>D (m)</b>	<b>D pris</b>	<b>Z (m)</b>
0.317	0,33	0,23	0,724	0,8	5,17

Les conditions  $0,05 \leq h/H_0 \leq 0,7$  et  $0,1 \leq y_n/H_0 \leq 0,8$  étant respectées, l'abaque ci-dessous permettant de lire l'enfoncement D du bassin en fonction de  $y_n/H_0$  et  $h/H_0$  peut alors être utilisée et on obtient donc en lisant sur cet abaque :

$D/H_0 = 0,23$  soit  $D = 0,23 * 3,15 = 0,724$  m

Prenons **D= 0,8 m** comme valeur initiale pour les calculs itératifs



*Figure 12 : Détermination de l'enfoncement du bassin de dissipation*

On aura alors la hauteur maximale d'eau au droit du déversoir donnée par la formule :

$$\mathbf{H = H_0 + D} \quad \text{soit : } H = 3,15 + 0,8 = 3,95 \text{ m} \quad \text{d'où} \quad \mathbf{H = 4 \text{ m}}$$

On peut évaluer la hauteur de chute (He) par la formule

$$\mathbf{He = h + V_0^2/2g} \quad \text{ainsi, } He = 1 + 1,84^2/2*10 = 1,17 \text{ m} \quad \mathbf{He = 1,17 \text{ m}}$$

La hauteur totale est donnée par

$$\mathbf{Z = H + He} \quad \text{soit } Z = 4 + 1,17 = 5,17 \text{ m} \quad \mathbf{Z = 5,17 \text{ m}}$$

- ✓ **La profondeur d'eau à l'entrée du bassin c'est-à-dire le tirant d'eau avant le ressaut** est donné par la formule :

$$Y_1 = \frac{q}{(2g * (Z - Y_1))^{1/2}}$$

Par itération on a (cf. tableau) on détermine ainsi la valeur de Y1

*Tableau 51 : Détermination de Y1*

q	Z	Y1 fixé	rapport	Dh
1,838	5,17	0,8	0,2089176	-0,5910824
		0,6	0,20371983	-0,39628017
		0,05	0,19120952	0,14120952
		0,08	0,19183337	0,11183337
		0,194	0,19426093	0,00026093

Il est prise comme valeur de  $\mathbf{Y_1 = 0,194 \text{ m}}$

La vitesse de l'eau à l'entrée du bassin est de :

$$\mathbf{V_1 = \frac{q}{Y_1} \text{ (m/s)}}$$
 , donc  $V_1 = 1,838 / 0,194 = 9,47 \text{ m/s}$

$$\mathbf{V_1 = 9,47 \text{ m/s}}$$

Le nombre de Froude :  $Fr = \frac{V_1}{(g \cdot Y_1)^{1/2}}$  d'où :  $Fr = 9,47 / (10 \cdot 0,194)^{0,5} = 6,8$

$$Fr = 6,8$$

La hauteur d'eau à la sortie du bassin après ressaut :

$$Y_2(m) = \frac{Y_1 \cdot ((8 \cdot Fr^2 + 1)^{1/2} - 1)}{2}$$

D'où  $Y_2 = 1,77 \text{ m}$

La vitesse à la sortie est :  $V_2 = \frac{q}{Y_2}$ , ainsi  $V_2 = 1,838 / 1,77 = 1,03 \text{ m/s}$

$$V_2 = 1,03 \text{ m/s}$$

Vérification pour que le ressaut ne quitte pas le bassin :

$$Y_n + D = 1,04 + 0,8 = 1,84 \quad \text{et} \quad Y_2 = 1,77 \text{ m}$$

$Y_n + D > Y_2$  d'où la condition est vérifiée.

Les autres paramètres sont obtenus à l'aide de l'abaque ci-dessous en fonction du nombre de Froude.

Choix du type de bassin de dissipation

$V_1 = 9,47 \text{ m/s} < 15 \text{ m/s}$  et  $Fr > 4,5$ , donc il est recommandé d'utiliser un **bassin de type II.**

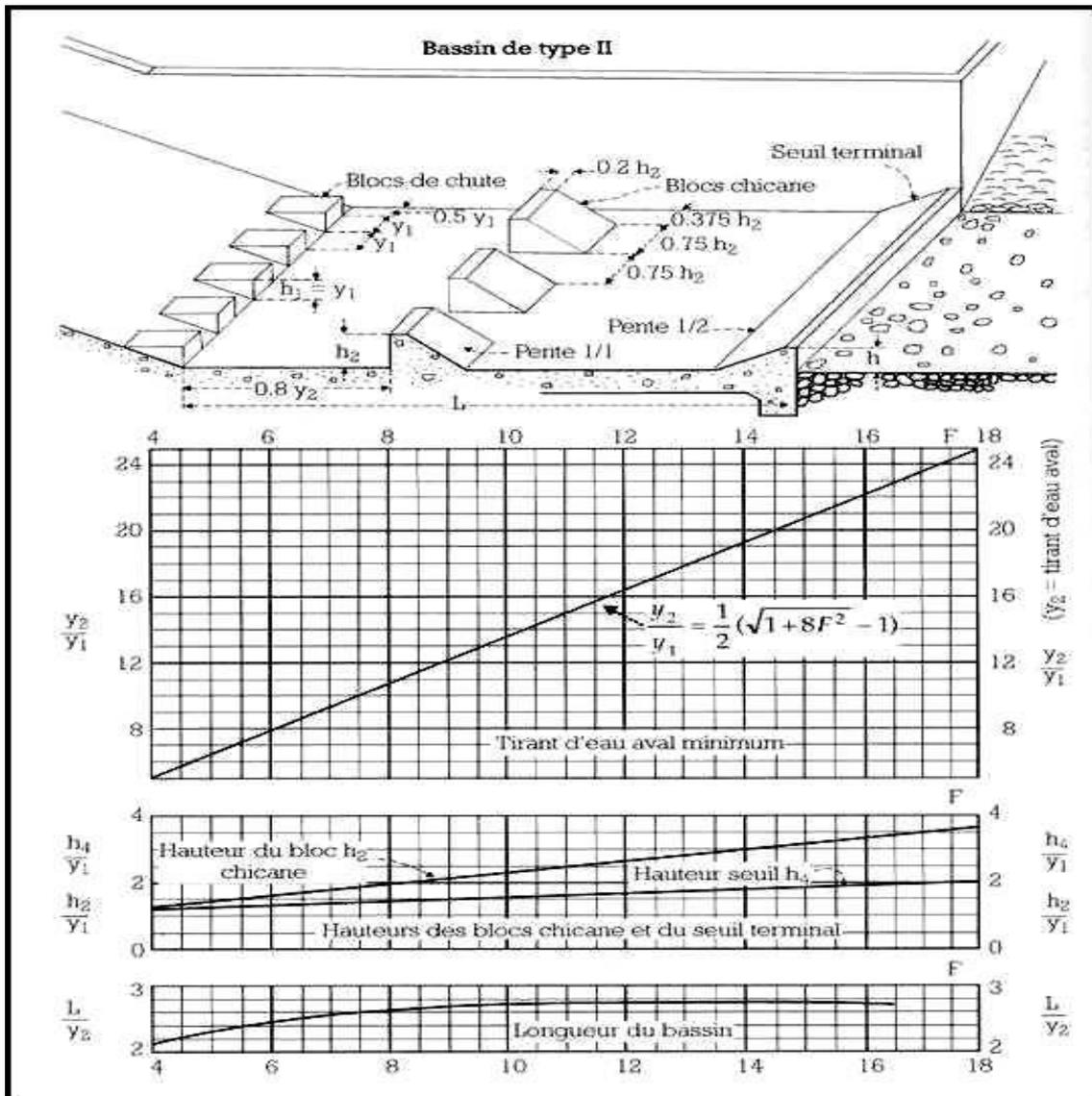


Figure 13 : Bassin de type 2

✓ **La longueur du bassin**

Elle est déterminée sur l'abaque ci-dessus. Le résultat est consigné dans le tableau suivant :

Tableau 52: Longueur du bassin de dissipation

Longueur du bassin (abaque)				
Fr	Y <sub>2</sub> (m)	L/y <sub>2</sub>	L (m)	L retenue (m)
6,8	1,77	2,6	4,6	<b>5</b>

✓ **La profondeur du bassin de dissipation :**

Elle est obtenue par la formule :

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

$$P = 0,1 \times (1,77 + 9,41) = 1,118$$

$$P = 1,118 \text{ m}$$

✓ **Les blocs chicanes :**

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

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

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

Les paramètres calculés des blocs chicanes sont calculés grâce à l'abaque de la figure 3 ci-dessous sont consignés donnés dans le tableau suivant :

*Tableau 53 : Paramètres des blocs chicanes*

Les blocs chicanes							
Fr	y1	h2/y1	Pente	La hauteur h2 (m)	Largeur (m)	Espacement (m)	épaisseur de crête (m)
6,8	0,194	2	V/H = 1/1	0,38	0,285	0,285	0,076

✓ **Les blocs de chute :**

En regardant l'abaque ci-dessus on se rend compte que :

$$h_1 = y_1 = b_1 = e_1 = 0,194 \text{ m}$$

*Tableau 54: Paramètres des blocs de chute*

Les blocs de chute (abaque)			
Fr	La hauteur h1(m)	La largeur à la base b1 (m)	esp, e1 (m)
6,8	0,194	0,194	0,194

✓ **Seuil terminal :**

*Tableau 55: Paramètres du seuil terminal*

Seuil terminal du bassin				
Fr	Y1 (m)	H4/y1	Pente	Hauteur h4 (m)
6,8	0,194	1,4	2H/1V	0,27

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

$$d = 0,8 \times y_2 \quad \text{d'où } d = 0,8 \times 1,77 = 1,41 \text{ m}$$

$$d = 1,41 \text{ m}$$

❖ Protection de l'aval du bassin :

Le bassin ne dissipe que 75% de l'énergie de l'eau, il faut donc protéger l'aval avec du gabion sur une certaine distance.

Vitesse de début d'entraînement ( $V_e$ )

Pour les sols argileux,  $V_e$  varie de 0,8 à 1,2 m/s (Source : cours de barrage, Harouna KARAMBIRI et Ismaïla GUEYE, année scolaire 2006-2007)

Dans notre cas, nous choisirons :  $V_e = 1,2 \text{ m/s}$

Diamètre minimum des enrochements nécessaires ( $D_{\text{enrochement}}$ ):

La lecture sur l'abaque nous donne :  $D_{\text{enrochement}} = 0,15 \text{ m}$

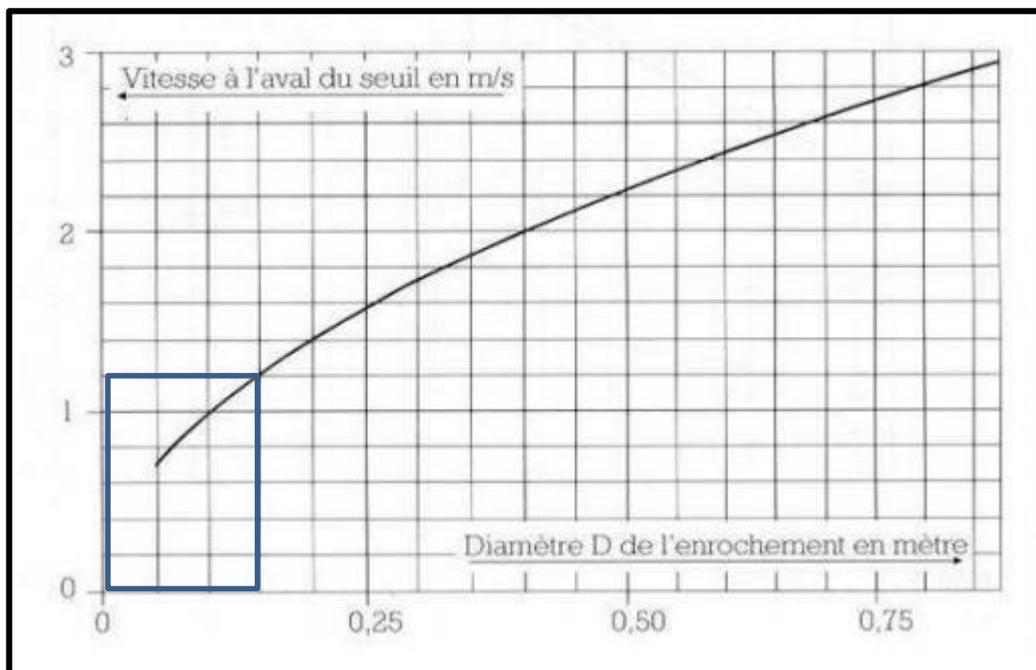


Figure 14 : Abaque de détermination du diamètre de l'enrochement.

Epaisseur de la couche d'enrochement (  $E_{enrochement}$  )

$$E_{enrochement} \geq 3 * D_{enrochement}$$

$$E_{enrochement} = 0,15 * 3 = 0,45 \text{ m}$$

Nous retiendrons :  $E_{enrochement} = 0,50 \text{ m}$

Longueur à protéger (  $L_{protection}$  )

$$L_{protection} \geq 2 * L$$

$$L_{protection} = 2 * 5 = 10 \text{ m}$$

Volume enrochements :  $58 * 10 * 0,5 = 290 \text{ m}^3$

### ❖ Ouvrage de prise et de vidange (pertuis de vidange) :

#### - OUVRAGE DE PRISE

L'ouvrage de prise est calé à la côte 265,25. Pour le dimensionnement de la conduite nous utiliserons la loi de Torricelli pour le vidange des réservoirs par orifice.

L'application du théorème de Bernoulli le long de la ligne de courant AB donne :

$$Z_A - \frac{P_A}{\rho g} + \frac{U_A^2}{2g} = Z_B - \frac{P_B}{\rho g} + \frac{U_B^2}{2g}$$

On a :  $\frac{P_A}{\rho g} - \frac{P_B}{\rho g} = 0$  ( $P_A$  et  $P_B$  , sont égale à la pression atmosphérique)

$U_A = 0$  (pour un réservoir de grande dimension)

$$Z_A - Z_B = h \text{ et } U_B^2 = Z_A - Z_B = 2gh$$

On a :  $U_B = \sqrt{2gh}$  ( $U_B$ , est la loi de Torricelli)

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ et } h = 1,25 \text{ m}$$

$$U_B = 4,95 \text{ m/s}$$

Cette vitesse est indépendante du liquide et le débit de vidange du réservoir vaut :

$$Q = U_B * S = S * \sqrt{2gh} = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = U_B * \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi * U_B}} = 0,307 \text{ m} \approx 0,3 \text{ m}$$

**D = 0,3 m** nous prendrons 500 mm

- **OUVRAGE DE VIDANGE :**

D'après la loi de Torricelli,  $V(t) = \sqrt{2gh}$

H(m) : hauteur entre la côte de la surface du plan d'eau et la côte du fond de l'ouvrage de vidange

$g(m/s^2)$  : intensité de la pesanteur

$$v(t) = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 * 9,81 * 3,65} = 8,46 \text{ m/s}$$

Le lien entre  $\frac{dh}{dt}$  et  $v(t)$  permet d'établir l'équation différentielle vérifiée par  $h(t)$  :

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{s}{S} * v(t) = -\frac{s}{S} * \sqrt{2gh}$$

Séparons les variables  $h$  et  $t$ .

$$\frac{dh}{\sqrt{h}} = -\frac{s}{S} * \sqrt{2g} dt$$

Intégration de l'expression :  $\frac{dh}{\sqrt{h}} = -\frac{s}{S} * \sqrt{2g} dt$

$$\int_{h_0}^h \frac{dh}{\sqrt{h}} = \int_0^t \left( -\frac{s}{S} * \sqrt{2g} \right) dt$$

Les bornes de l'intégration sont :

A l'instant étudié : temps ( $t$ ) et hauteur ( $h$ )

A l'instant initial : temps ( $0$ ) et hauteur ( $h_0$ )

Le temps de vidange pour passer de la hauteur initiale ( $h_0$ ) à la hauteur ( $h$ ) est :

$$t = \frac{S}{s} * \sqrt{\frac{2}{g}} * (\sqrt{h_0} - \sqrt{h})$$

Le temps pour la vidange total du barrage est, le temps pour lequel on passe de la hauteur initiale ( $h_0$ ), à la hauteur ( $h=0$ ).

$$T = \frac{S}{s} * \sqrt{\frac{2}{g}} * (\sqrt{h_0})$$

Hypothèse : si on admet une section de sortie :  $s = 3,2 * 2 = 6,4 \text{ m}^2$  ;

(S) : est lue sur la courbe hauteur –surface à la côte du déversoir = **804007,32 m<sup>2</sup>**

( $h_0$ ) : côte crête du déversoir à la côte fond de l'ouvrage de vidange = **3,65 m**

$$T = 693564,617s = 1,26 \text{ jours} \approx 2 \text{ jours}$$

La longueur de la conduite est donné par  $L = L_b + d$ , avec :

$d$  : Longueur des bassins amont et aval = 5 m

$L_b$  : Longueur de base de la digue = 24 m

$L$  = Longueur de la conduite = 24+5 = 29 m **L = 29 m**

### III.3. Etude de la stabilité du déversoir :

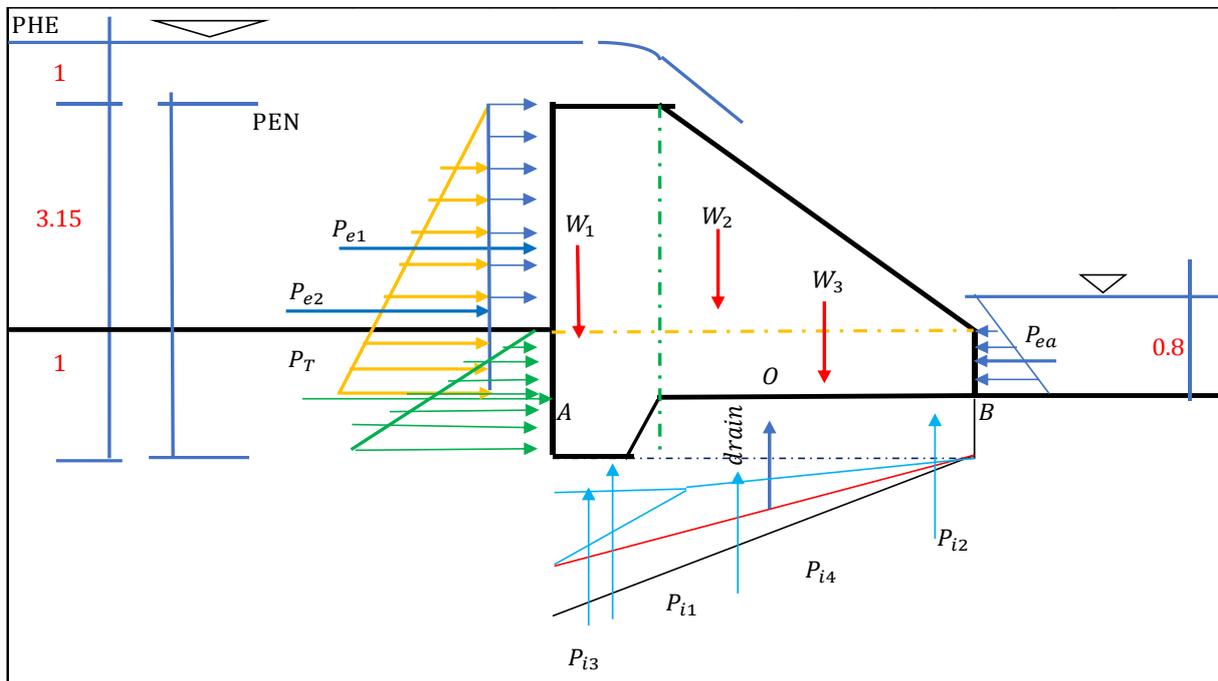


Figure 15: Bilan des forces sur le déversoir

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

#### ❖ STABILITE AUX PHE DU DEVERSOIR :

*Tableau 56 : Stabilité du déversoir aux PHE*

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
<b>Stabilité au renversement</b>		
Somme des moments renversants	kN.m	269,714
Somme des moments stabilisant	kN.m	510,560
Coefficient de sécurité au renversement		1,89 > 1 ,5
<b>Stabilité au glissement</b>		
Résultante des forces horizontales	kN/ml	129,693
Résultante des forces verticales	kN/ml	268,782
Coefficient de sécurité au glissement		1,06 > 1
<b>Règle du tiers central</b>		
Excentricité	m	0,15
B/6	m	0,18 > 0,15
<b>Stabilité au poinçonnement</b>		
Capacité portant du sol	kN/m <sup>2</sup>	150
Contrainte maximale imposée	kN/ml	55,99
Coefficient de sécurité au poinçonnement		2,69 > 1 ,5
<p>CONCLUSION : Toutes les stabilités au glissement, au renversement, au poinçonnement et la règle du tiers central ayant été vérifiées alors nous pouvons conclure à la stabilité du déversoir.</p>		

❖ **STABILITE AUX PEN DU DEVERSOIR :**

Pour l'étude de la stabilité au plan d'eau normal, on considère tout simplement que la poussée hydrostatique est nulle, ainsi on a les résultats suivants :

*Tableau 57 : Stabilité du déversoir au PEN*

DÉSIGNATION	UNITÉ	VALEUR
<b>Stabilité au renversement</b>		
Somme des moments renversants	kN.m	241,507
Somme des moments stabilisant	kN.m	553,760
Coefficient de sécurité au renversement		2,29 m > 1 ,5
<b>Stabilité au glissement</b>		
Résultante des forces horizontales	kN/ml	111,168
Résultante des forces verticales	kN/ml	261,888
Coefficient de sécurité au glissement		1,03 > 1
<b>Règle du tiers central</b>		
Excentricité	m	0,01
B/6	m	0,20 > 0,01
<b>Stabilité au poinçonnement</b>		
Capacité portant du sol	kN/m <sup>2</sup>	150
Contrainte maximale imposée	kN/ml	55,99
Coefficient de sécurité au poinçonnement		2,69 > 1 ,5
CONCLUSION : Toutes les stabilités au glissement, au renversement, au poinçonnement et la règle du tiers central ayant été vérifiées alors nous pouvons conclure à la stabilité du déversoir.		

- **La stabilité au glissement :**

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

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

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

$F_G = 1,06 > 1$ , donc la stabilité au glissement est vérifiée.

- **Stabilité au renversement :**

On calcule alors un coefficient de sécurité F définit par :

Le coefficient de renversement  $F_R = \frac{\text{Moment stabilisants}}{\text{Moments renversants}} = \left| \frac{M_s}{M_r} \right|$

Or  $M_s = 510,560 \text{ KN.m}$  et  $M_r = 269,714 \text{ KN.m}$

D'où  $F_R = 643,1 / 337,008 = 1,89$

$F_R = 1,89$

$F_R > 1,5$ , d'où la stabilité de l'ouvrage au renversement est assurée.

**Vérification de la règle du tiers central :**

$$X = \frac{\sum Mr - Ms}{\sum Fv} = 1$$

Avec  $\sum Fv = 268,782 \text{ KN.m}$  et  $\sum(Mr - Ms) = 305,3 \text{ KN.m}$

Excentricité  $e = \overline{OB} - X$  donc ,  $e = 1,15 - 1 = 0,15 \text{ m}$

La règle du tiers central

Vérifions que  $\frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6}$

$b/6 = 0,18 \text{ m}$

$-0,15 < e < 0,18$  car  $e = 0,15 \text{ m}$ , donc on peut dire que :

$\frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6}$  , Ainsi le déversoir est stable au renversement.

- **Stabilité au poinçonnement :**

La résistance au poinçonnement est assurée lorsque la pression normale sous le massif est toujours inférieure à la pression admissible du sol.

Les contraintes doivent être positives mais inférieure à la contrainte du sol ( $\sigma_A$  et  $\sigma_B$  positives mais  $< \sigma_{sol}$ ). Le point C agit au centre de gravité du seuil mais à la base du seuil, il agit à  $b/2$ .

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

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

L'étude géotechnique nous donne  $\sigma_{sol} = 0,15 \text{ Mpa}$  soit 150 kPa.

$$\sigma_A = 55,99 \text{ kPa} < 150 \text{ kPa}$$

$$\sigma_B = 84,91 \text{ kPa} < 150 \text{ kPa}$$

D'où la stabilité au poinçonnement est vérifiée.

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

**ANNEXES IV : PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL**

*Tableau 58 : Grille d'évaluation des impacts environnementaux*

		Milieu physique et biologique							Milieu humain					
		Qualité de l'air	Eaux surfaces	Eaux souterraines	Sols	Végétation	Faune et microfaune	Paysage	Santé publique et sécurité	Emploi	Circulation	Activités économiques	Patrimoine culturel	Qualité vie et bien être
<b>Phase de démarrage</b>	Installation des chantiers et bases-vie	N	O	O	N	N	O	N	N	P	O	P	O	O
	Transport et circulation main d'œuvre, machinerie et matériaux	N	O	O	N	N	N	N	N	P	N	P	O	N
	Déblai et mise en dépôt du tout venant	N	O	O	N	N	N	N	N	O	O	O	O	N
	Exploitation des emprunts et carrières	N	O	O	N	N	N/P	N	N	P	N	O	O	N
	Travaux de remblaiement des diguettes	N	N	O	N	N	N	N	N	O	N	P	O	O
<b>Phase des travaux</b>	Travaux de dessouchage dans l'aire du barrage et des périmètres à aménager	N	O	O	N	N	N	N	O	P	N	O	O	O
	Travaux maçonnerie des ouvrages	N	N	O	N	N	O	N	N	P	N	P	O	O
	Construction des ouvrages connexes (drains, protection divers)	N	N/P	O	N	N	N	N	N	P	N	O	O	O
	Présence de la main d'œuvre	O	N	N	O	N	N	O	N	P	O	P	P	N
	Repli du chantier	N	N	O	N	N	N	N	O	O	O	O	O	O
	Plantation d'arbres	N	O	O	N	P	P	P	O	P	O	P	O	P
	Déplacement et réinstallation de populations	O	O	N	N	N	O	N	N	P	O	N/P	O	N/P

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

<b>Phase D'exploitation</b>	Entretien courant ou périodique des ouvrages	N	N	O	O	N	O	O	N	P	N	O	O	N/P
	Présence de barrage et des périmètres aménagés et d'infrastructures d'accompagnement	N/P	N	N	O	N	N	N	N/P	P	N/P	P	P	N/P

**Légende :** N = Négatif, P = Positif, N/P = Positif et Négatif, O = Nul ou négligeable

*Tableau 59 : Plan de mise en œuvre des mesures d'atténuation*

<b>Impacts négatifs potentiels</b>	<b>Mesures d'atténuation</b>	<b>Responsabilités</b>		<b>Phase du projet</b>
		<b>Planification</b>	<b>Mise en œuvre</b>	
<b>Risque de blessures lors du débroussaillage et dessouchage, remblaiement et déblaiement</b>	Sensibiliser les ouvriers sur le terrain Doter chaque équipe d'une trousse de premiers secours	BUNED, MDC, entreprise	Entreprise	Pendant les travaux
<b>Transmission de maladies sexuellement transmissibles, grossesse non désirée</b>	sensibilisation du personnel ouvrier	MAH, Entreprise, commune	MAH, Entreprise,	Avant et au cours des travaux
	sensibilisation des populations	MAH, Entreprise, commune	MAH, Entreprise, commune	Avant et au cours des travaux

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

<b>Nuisances diverses</b>	Gestion efficace des déchets solides et liquides Interdiction de travailler la nuit sauf dérogation faisant l'objet d'accord communal	Population, Entreprise, commune	Entreprise	Pendant les travaux
<b>Détérioration de la qualité de l'air ambiant</b>	Arrosage périodique et fréquent des pistes à la traversée des villages	MAH, BUNED, MDC, Entreprise	Entreprise	Pendant les travaux
<b>Perturbation de la circulation locale pendant les travaux</b>	Faire respecter les normes de circulation	MAH, BUNED, Entreprise	MAH, Entreprise,	Pendant les travaux
<b>Destruction de la végétation</b>	Sensibilisation du personnel travaillant sur les respects de l'environnement	MAH, BUNED, MDC, Entreprise	MAH, Entreprise,	Pendant les travaux
	Contrôles périodiques des respects de l'environnement	MAH, BUNED, MDC, Entreprise et commune	BUNED, MDC	Pendant les travaux
	Plantation de compensation dans les villages limitrophes de chaque site Aménagement des berges du barrage pour assurer sa protection	MAH, BUNED, MDC, Entreprise et commune	Entreprise, commune	Après les travaux lourds
	Restauration des carrières	MAH, BUNED,	Entreprise	Après les travaux

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

		MDC, Entreprise		
<b>Risques d'accidents sur les animaux</b>	Installation de panneaux de limitation des vitesses	MAH, Entreprise et populations.	Entreprise	A la fin des travaux
<b>Braconnage</b>	Renforcement des capacités des services locaux de l'environnement	Direction de l'environnement, MAH, BUNED,	Direction de l'environnement,	Après les travaux
	Interdiction au personnel l'abatage des animaux sauvages	MAH, BUNED, Entreprise	Entreprise	Pendant les travaux
<b>Diminution des quantités d'eau par les prélèvements abusifs</b>	Interdiction de prélèvement au niveau des points d'eau sensibles	MAH, BUNED Entreprise et populations.	Entreprise	Pendant les travaux
<b>Pollution des eaux par des polluants laissés sur le sol</b>	Sensibilisation du personnel travaillant sur les chantiers	MAH, BUNED, MDC, Entreprise	M AH, Entreprise	Pendant les travaux
	Bonne gestion des déchets	MAH, BUNED, MDC, Entreprise	Entreprise	Pendant et Après les travaux
<b>Erosion et ensablement</b>	Aménagement et protection des berges selon la réglementation en vigueur	MAH, MDC, Entreprise	Entreprise, service forestier local	Vers la fin des travaux
<b>Perte des plantations, de maisons et des terrains</b>	Indemnisation des propriétaires et leur réinstallation sur d'autres sites	MAH, Entreprise et commune	Entreprise et commune	Au démarrage des travaux

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

--	--	--	--	--

*Tableau 60 : Plan des suivis environnementaux et sociaux du projet*

<b>Composante du milieu</b>	<b>Activités à mener</b>	<b>Localisation</b>	<b>Paramètres/ Indicateurs de suivi</b>	<b>Période</b>	<b>Responsabilités</b>
<b>Santé publique et Sécurité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Campagne de sensibilisation sur les IST/VIH-SIDA</li> <li>• Sensibilisation sur l'hygiène et l'assainissement</li> <li>• Mise en place d'une unité de santé pour la prise en charge rapide des accidents de chantier</li> <li>• Mise en place de balises, de signalisations et de panneaux de chantier</li> <li>• Dotation d'équipements adéquations</li> <li>• Interdictions de travaux de nuits, de consommations d'alcool et excitants par le personnel</li> <li>• Information et sensibilisation des populations sur les risques liés à la présence du chantier               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Respect des lieux de culte</li> </ul> </li> <li>• Signalisation de tout vestige culturel ou archéologique découvert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Chantier</li> <li>•Pistes d'accès aux sites d'emprunts et des carrières</li> <li>•Déviations</li> <li>•Domiciles des populations</li> </ul> Environnement	Nombre de maladies respiratoires Arrosage du chantier Nombre de séances de sensibilisations Existence de mini santé Existence de balises et panneaux de signalisations Nombre d'accidents observés.	Avant et pendant les travaux	MDC CS

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

<b>Patrimoine culturel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilisation des ouvriers à l'évitement de la profanation de lieux sacrés</li> <li>• Signalisation de toute découverte de vestiges culturels ou archéologiques</li> </ul>	•Sites du projet	Adhésion des Autorités coutumières Pas de profanation de sites culturels	Pendant les travaux	Autorités Coutumières Mairies MDC CS
<b>Emplois</b>	•Recrutement de la main d'œuvre locale	•Populations	Nombre de personnes embauchées	Pendant les travaux	Entreprise
<b>Circulation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Contournement dans la mesure du possible les lieux par les véhicules et engins de chantier</li> <li>•Imposition aux chauffeurs d'une limitation de vitesse sur le chantier, les déviations, les croisements</li> <li>•Maintien en permanence la circulation et l'accès des riverains à leurs habitations</li> <li>•Mise en place de signalisation adéquate</li> <li>•Réglementation de la circulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Chantier</li> <li>•Base-vie</li> <li>•Parking</li> <li>•Zones d'emprunts et carrières</li> </ul>	Existence de panneaux de signalisation Contournement des lieux fréquentés Nombre d'accidents Respect des limitations de vitesse Entretien du tronçon	Pendant les travaux et exploitation du tronçon	MDC CS Mairie

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

*Tableau 61 : Evaluation du cout de PGES*

Mesures	Détails des évaluations	Unité	Quantité	Coût unitaire	Coût total(FCFA)
Remise en états du site et des carrières	Remise en état avec la participation des populations, végétalisation de ces sites	FF	1	3 000 000	3 000 000
Protection des berges	Aménagement et plantations avec des essences locales	FF	1	6 000 000	6 000 000
Aménagement des pistes d'accès au barrage	Disposer des pistes d'accès au barrage	m	50	25 000	1 250 000
Reboisement compensatoire	Compenser les arbres abattus lors travaux. Il faudra donc doter la mairie de pépinières pour assurer la compensation des essences coupées	u	1000	6000	6 000 000
Clôture du périmètre aménagé	Clôture avec de la haie vive	FF	1	3 000 000	3 000 000
Ecotourisme	Aménagement d'un site pour loisirs	FF	1	2 000 000	2 000 000
Indemnisations	Plantations, habitations	u	30	50 000	1 500 000
	Terres agricoles		PM		
Total hors taxes	22 750 000 Fcfa				

## ANNEXES V : METRE ET DEVIS

### V.1 Volume de remblai de la digue et de la tranchée :

#### VOLUME DE REMBLAI DE LA DIGUE

Numéro du profile	Côte TN (m)	Côte de la digue (m)	Largeur en crête (m)	Distance partielle (m)	Hauteur intermédiaire (m)	Surface intermédiaire (m2)	Volume intermédiaire (m3)	m1: Fruit de talus amont	m2 :Fruit de talus amont
1	272,87	271	4	0	-2,22	-0,87	0	2,5	2,5
2	272,92	271	4	16,3	-2,27	-0,62	-10,1	2,5	2,5
3	271,18	271	4	35,35	-0,53	-0,17	-6,0	2,5	2,5
4	270,59	271	4	32,577	0,06	0,78	25,4	2,5	2,5
B3	270,46	271	4	52,38	0,19	1,32	69,1	2,5	2,5
6	269,97	271	4	44,98	0,68	1,98	89,1	2,5	2,5
B2	268,83	271	4	52,742	1,82	3,43	180,9	2,5	2,5
8	267,89	271	4	45,357	2,76	5,13	232,7	2,5	2,5
9	267,18	271	4	51,38	3,47	7,08	363,8	2,5	2,5
10	266,58	271	4	62,77	4,07	8,04	504,7	2,5	2,5
11	265,63	271	4	52,974	5,02	9,28	491,6	2,5	2,5
12	264,98	271	4	47,259	5,67	9,85	465,5	2,5	2,5
13	264,4	271	4	50,66	6,25	10,33	523,3	2,5	2,5
A5	264;13	271	4	48,583	6,52	11,63	565,0	2,5	2,5
15	264,3	271	4	25,223	6,35	11,2	282,5	2,5	2,5
16	264,25	271	4	39,094	6,4	11,73	458,6	2,5	2,5

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

17	264,57	271	4	23,338	6,08	13,45	313,9	2,5	2,5
18	264,67	271	4	18,386	5,98	14,43	265,3	2,5	2,5
19	261,87	271	4	10,721	8,78	16,17	173,4	2,5	2,5
20	261,85	271	4	7,346	8,8	17,3	127,1	2,5	2,5
21	264,93	271	4	12,303	5,72	19,01	233,9	2,5	2,5
A3	265,46	271	4	13,338	5,19	19,02	253,7	2,5	2,5
22	266,45	271	4	47,11	4,2	18,25	859,8	2,5	2,5
23	266,46	271	4	31,18	4,19	17,38	541,9	2,5	2,5
24	265,48	271	4	58	5,17	17,5	1015,0	2,5	2,5
25	266,08	271	4	57,685	4,85	14,43	832,4	2,5	2,5
26	266,26	271	4	80,207	4,39	11,73	940,8	2,5	2,5
27	267,05	271	4	73,078	3,6	9,28	678,2	2,5	2,5
28	267,35	271	4	41,853	3,3	7,08	296,3	2,5	2,5
29	267,27	271	4	71,553	3,38	4,13	295,5	2,5	2,5
30	267,37	271	4	41,853	3,28	3,43	143,6	2,5	2,5
31	267,67	271	4	71,553	2,98	1,98	141,7	2,5	2,5
32	268,08	271	4	74,045	2,57	1,99	147,3	2,5	2,5
B3	269,01	271	4	54,93	1,64	3,43	188,4	2,5	2,5
34	269,36	271	4	49,947	1,29	5,13	256,2	2,5	2,5
35	269,5	271	4	46,735	1,15	7,08	330,9	2,5	2,5
36	269,55	271	4	52,922	1,1	9,28	491,1	2,5	2,5
37	268,9	271	4	59,11	1,75	11,73	693,4	2,5	2,5
38	268,99	271	4	33,512	1,66	14,43	483,6	2,5	2,5
39	269,55	271	4	69,519	1,1	17,338	1205,3	2,5	2,5

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

<b>Total du volume de remblai de la Digue (m3) au-dessus du TN</b>	<b>15 145</b>		
--	---------------	--	--

<b>VOLUME REMBLAI EN DESSOUS DU TN DE LA DIGUE</b>					
<b>Numéro du profile</b>	<b>Profondeur</b>	<b>Distance partielle (m)</b>	<b>Profondeur moyenne(m)</b>	<b>Surface intermédiaire (m2)</b>	<b>Volume intermédiaire (m3)</b>
1	0,51	0	0	0	0
2	0,5	16,3	0,505	1,7	27,7
3	0,5	35,35	0,5	1,71	60,4
4	0,5	32,577	0,5	1,71	55,7
B3	0,5	52,38	0,5	1,71	89,6
6	0,5	44,98	0,5	1,71	76,9
B2	0,75	52,742	0,625	3,71	195,7
8	1	45,357	0,875	3,71	168,3
9	1,25	51,38	1,125	3,71	190,6
10	1,55	62,77	1,4	3,71	232,9
11	1,7	52,974	1,625	3,71	196,5
12	2	47,259	1,85	3,71	175,3
13	2,25	50,66	2,125	3,71	187,9
A5	2,7	48,583	2,475	5,1	247,8
15	3	25,223	2,85	5,1	128,6
16	3	39,094	3	5,1	199,4
17	3,2	23,338	3,1	5,1	119,0

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

18	3,5	18,386	3,35	5,1	93,8
19	4,3	10,721	3,9	6,2	66,5
20	4,4.5	7,346	4	6,2	45,5
21	5	12,303	4,65	6,2	76,3
A3	5,5	13,338	5,25	6,2	82,7
22	6	47,11	5,75	1,71	80,6
23	3,28	31,18	4,64	1,71	53,3
24	6,03	58	4,655	1,71	99,2
25	3,9	57,685	4,965	1,71	98,6
26	6	80,207	4,95	7,4	593,5
27	5,4	73,078	5,7	7,4	540,8
28	5	41,853	5,2	7,4	309,7
29	4,3	71,553	4,65	7,4	529,5
30	4,8	41,853	4,55	10,71	448,2
31	2,8	71,553	3,8	10,71	766,3
32	2,3	74,045	2,55	10,71	793,0
B3	2	54,93	2,15	12,2	670,1
34	1,7	49,947	1,85	12,2	609,4
35	1,5	46,735	1,6	12,2	570,2
36	1,4	52,922	1,45	1,71	90,5
37	1	59,11	1,2	1,71	101,1
38	0,5	33,512	0,75	1,71	57,3
39	0,5	69,519	0,5	1,71	118,9
40	0,51	69,519	0,505	1,71	118,9

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

<b>Total du volume de remblai de la (TN-tranché d'ancrage)</b>	<b>9366</b>
--	-------------

**V.2 Devis estimatif et quantitatif des travaux**

<b>N° Prix</b>	<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantité</b>	<b>Prix unitaire</b>	<b>Montant</b>
<b>I</b>	<b>INSTALLATIONS GENERALES DE CHANTIER</b>				
<b>I.1</b>	Amenée et repli du matériel	ff	1	1000000	1000000
<b>I.2</b>	Installation et Implantation du chantier	ff	1	3000000	3000000
<b>I.3</b>	mise en œuvre du plan de gestion environnementale et sociale		1	22750000	22750000
	<b>TOTAL INSTALLATION</b>				<b>26750000</b>
<b>II</b>	<b>DIGUE</b>				
<b>II.1</b>	abattage et dessouchage d'arbres de circonférence supérieur ou égale à 1,00 m, dans l'emprise de la digue	u	1	2250000	2250000
<b>II.2</b>	Débroussaillage et nettoyage	ha	20	100 000	2 000 000
<b>II.3</b>	Décapage de l'emprise, épaisseur max. 30 cm	m2	33494	400	13 397 580
<b>II.4</b>	Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	9366	3 000	28 098 000
<b>II.5</b>	Déblai manuel pour muret de crête, mur parapet, butée et drain de pied	m3	1500	3 500	5 250 000
<b>II.6</b>	Remblai argileux compacté à l'OPN pour tranchée d'ancrage	m3	9366	4 500	42 147 000
<b>II.7</b>	Remblai argileux compacté à l'OPN pour corps de digue	m3	15145	4 000	60 580 000
<b>II.8</b>	filtre horizontal	m3	5664	4 500	25 488 000
<b>II.9</b>	Couche de pose talus amont et aval	m3	1030	4 500	4 635 000

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

<b>II.10</b>	perré sec talus amont et aval	m3	21867	5 000	109 335 000
<b>II.11</b>	Perré maçonné sur 5m sur le talus amont		319	37500	11 962 500
<b>II.12</b>	enrochement butée de pied amont et drain de pied		600	5000	3 000 000
<b>II.13</b>	béton cyclopéen pour muret de crête	m3	185	100 000	18 500 000
<b>II.14</b>	Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m <sup>3</sup> pour mur parapet	m3	600	50 000	30 000 000
<b>II.15</b>	Revêtement latéritique compacte sur crête	ml	242	45 000	10 890 000
<b>II.16</b>	Echelle limnimétrique	ml	4.5	150 000	675 000
	<b>TOTAL DIGUE</b>				<b>368 208 080</b>
<b>III</b>	<b>MUR BAJOYER</b>				
<b>III.1</b>	Partie trapézoïdale	m3	53,55	150 000	8032500
<b>III.2</b>	Ecran anti-renard	m3	1,9125	150 000	286875
<b>III.3</b>	Partie rectangulaire	m3	3,42	150 000	513000
<b>III.4</b>	Talon	m3	15,39	150 000	2308500
	<b>TOTAL MUR BAJOYER</b>	m3			<b>11 140 875</b>
<b>IV</b>	<b>DIGUETTE DE PROTECTION</b>				
<b>IV.1</b>	Décapage de l'emprise des digues de protection, épaisseur 30 cm	m2	500	300	150 000
<b>IV.2</b>	Déblai aux engins	m3	16700	3 000	50 100 000
<b>IV.3</b>	fouille a la main pour butee de pieds ou drain	m3	50	2 500	125000
<b>IV.5</b>	Remblai argileux pour diguettes de protection	m3	1000	4 000	4 000 000
<b>IV.6</b>	Couche de couronnement latéritique des diguettes de protection	m3	30	4 000	120 000
	<b>TOTAL DIGUETTE DE PROTECTION</b>	m3			<b>54 495 000</b>
<b>V</b>	<b>OUVRAGE DE PRISE ET DE VIDANGE</b>				
<b>V.1</b>	Déblai manuel	m3	90	3 500	315 000

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

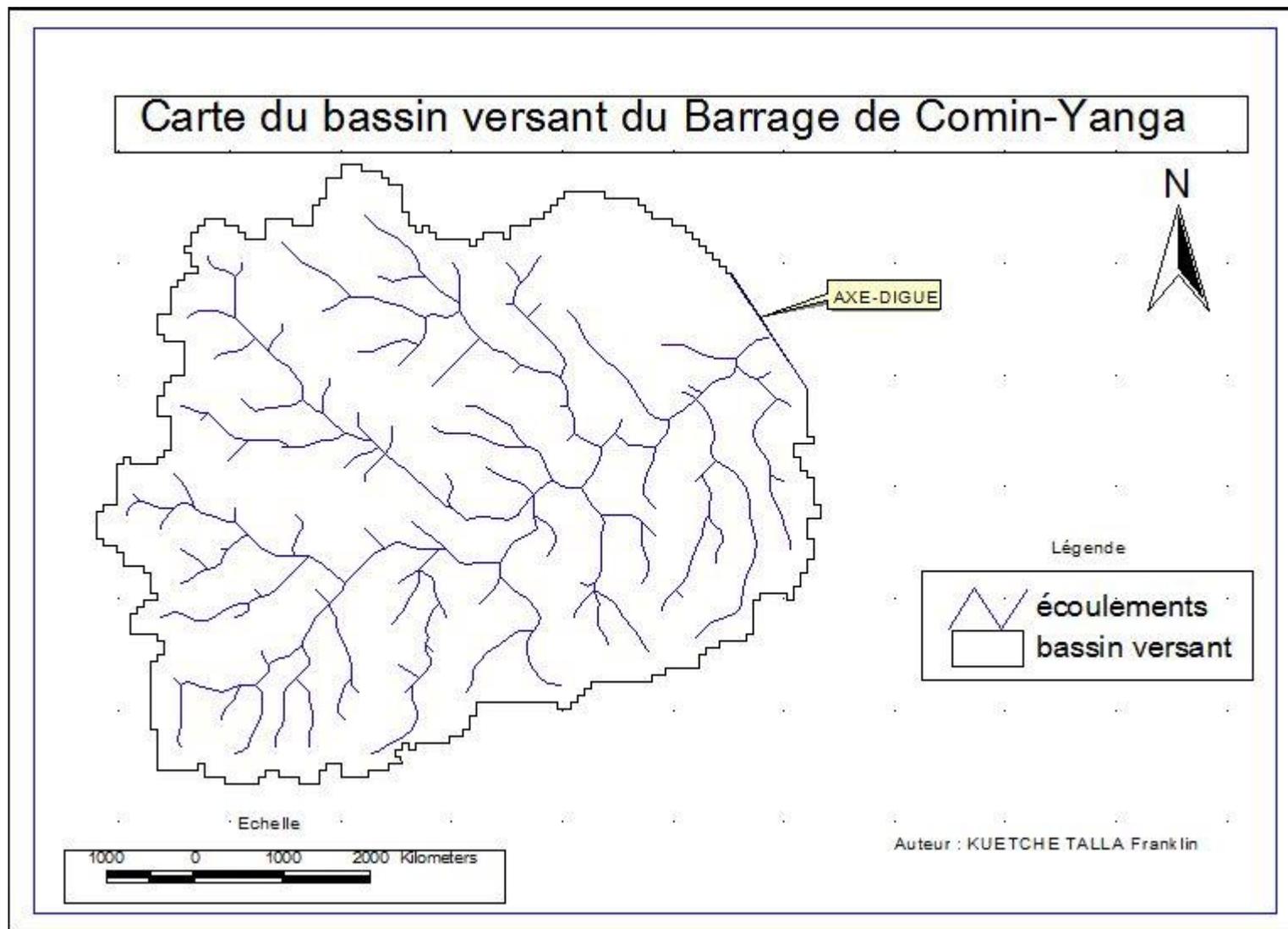
<b>V.2</b>	Béton armé dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	20	145 000	2 900 000
<b>V.3</b>	Béton de propreté dosé à 150 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	2	50 000	100 000
<b>V.4</b>	Perré maçonné de protection entre talus aval et bac aval (ép. 0.25 m)	m <sup>3</sup>	5	37 500	187 500
<b>V.5</b>	Perré sec de protection entre bac amont et talus amont (ép. 0.25 m)	m <sup>3</sup>	5	10 000	50 000
<b>V.6</b>	Conduite en acier Ø 500	ml	38	300 000	11 400 000
<b>V.7</b>	Crépine Ø 500	u	1	200 000	200 000
<b>V.8</b>	Robinet vanne Ø 500 et accessoires	u	1	5 000 000	5 000 000
<b>V.9</b>	Grille de protection	u	1	150 000	150 000
	<b>TOTAL OUVRAGE DE PRISE</b>				20 302 500
	<b>TOTAL POUR 02 OUVRAGES DE PRISE</b>				40 605 000
<b>VI</b>	<b>EVACUATEUR DE CRUE</b>				
<b>VI.1</b>	<b>Déversoir et bassin de dissipation</b>				
<b>VI.2</b>	Déblai aux engins pour déversoir et chenal sur 50m	m <sup>3</sup>	3 500,0	2 200	7 700 000
<b>VI.3</b>	Déblai à la main en terrain tendre	m <sup>3</sup>	141,3	2 500	353 125
<b>VI.4</b>	Déblai à la main en terrain compact	m <sup>3</sup>	27,5	15 000	412 500
<b>VI.5</b>	Perré maçonné	m <sup>2</sup>	1 191,9	12 500	14 898 500
<b>VI.6</b>	Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m <sup>3</sup> pour butée amont	m <sup>3</sup>	28,1	90 000	2 531 700
<b>VI.7</b>	Gabions 2x1x0,5	m <sup>3</sup>	125,0	35 000	4 375 000
<b>VI.8</b>	Béton de propreté dosé à 150 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	7,5	65 000	487 500
<b>VI.9</b>	Béton armé dosé à 350 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	296,4	150 000	44 457 000
<b>VI.10</b>	Béton ordinaire dosé à 300 kg/m <sup>3</sup> y compris coffrage pour blocs chicanes	m <sup>3</sup>	10,8	130 000	1 406 600
<b>VI.11</b>	Joints bitumineux	ml	242,2	10 000	2 421 600

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DU BARRAGE DE KOUGIOU-KANDAGA, COMMUNE DE COMIN-YANGA (BURKINA – FASO).

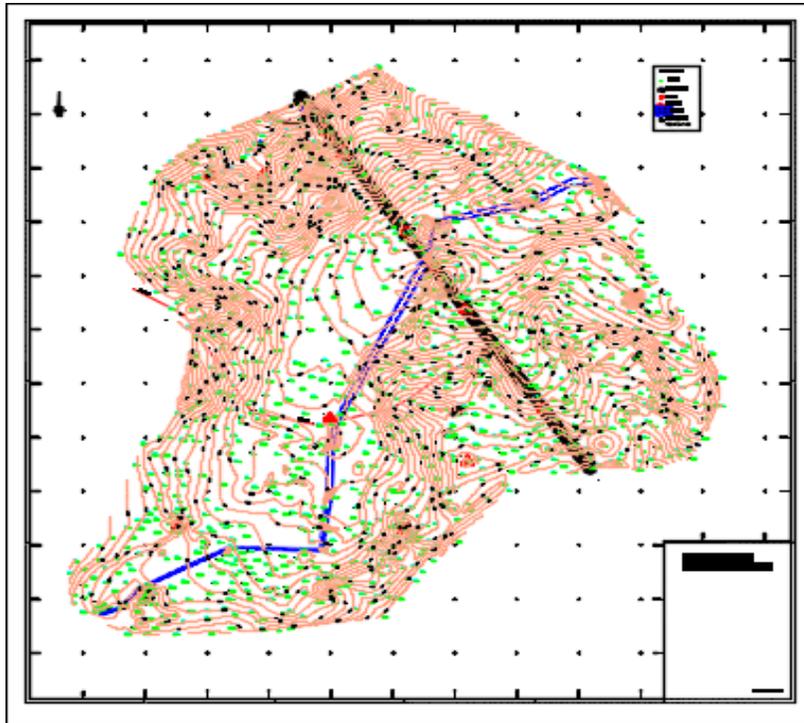
<b>VI.1 2</b>	Tuyaux PVC DN pour éjecteurs et barbacanes	ml	77,5	1 000	77 500
<b>VI.1 3</b>	Echelle limnométrique	ml	6,0	75 000	450 000
<b>VI.1 4</b>	Sable de rivière pour filtre (sous dalle, perré et bassin de dissipation)	m3	254,7	9 000	2 292 480
<b>VI.1 5</b>	Balises de signalisation à l'entrée et à la sortie du radier	U	4,0	50 000	200 000
<b>VI.1 6</b>	Bornes de signalisation (tous les 10m)	U	26,0	35 000	910 000
<b>VI.1 7</b>	Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m3 pour bassin de dissipation	m3	237,0	90 000	21 330 000
	<i>TOTAL DEVERSOIR</i>				104 303 505
	TOTAL HORS TAXE			605 502 460	
	DIVERS ET IMPREVUS (5%)			30275123	
	TOTAL GENERAL HTVA			635 777 583	

**ANNEXES VI : PLAN ET CARTES :**

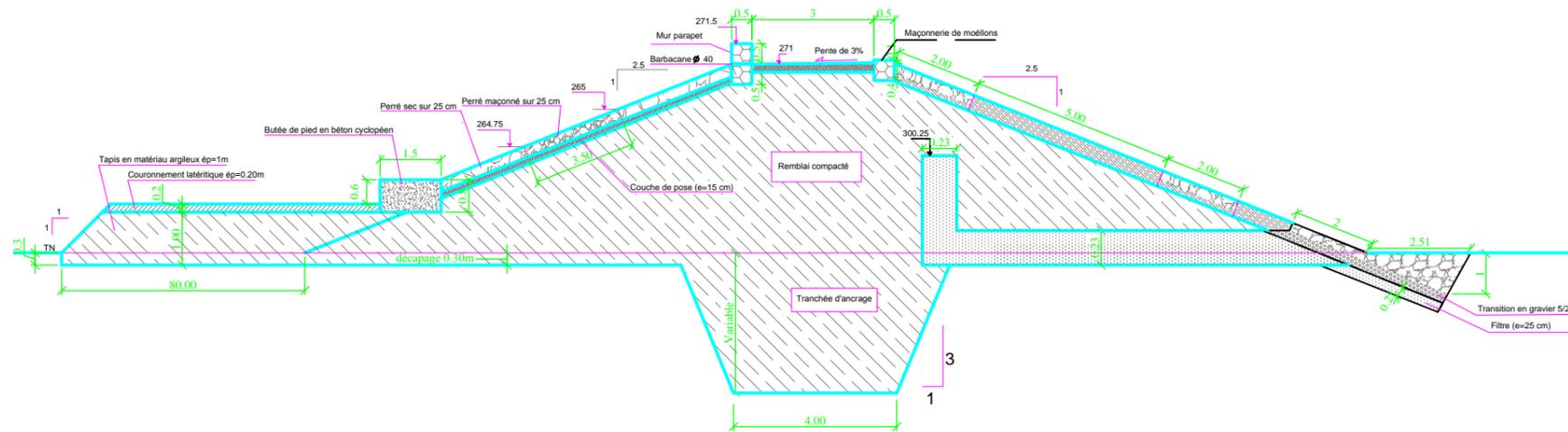
**A) Carte du bassin versant :**



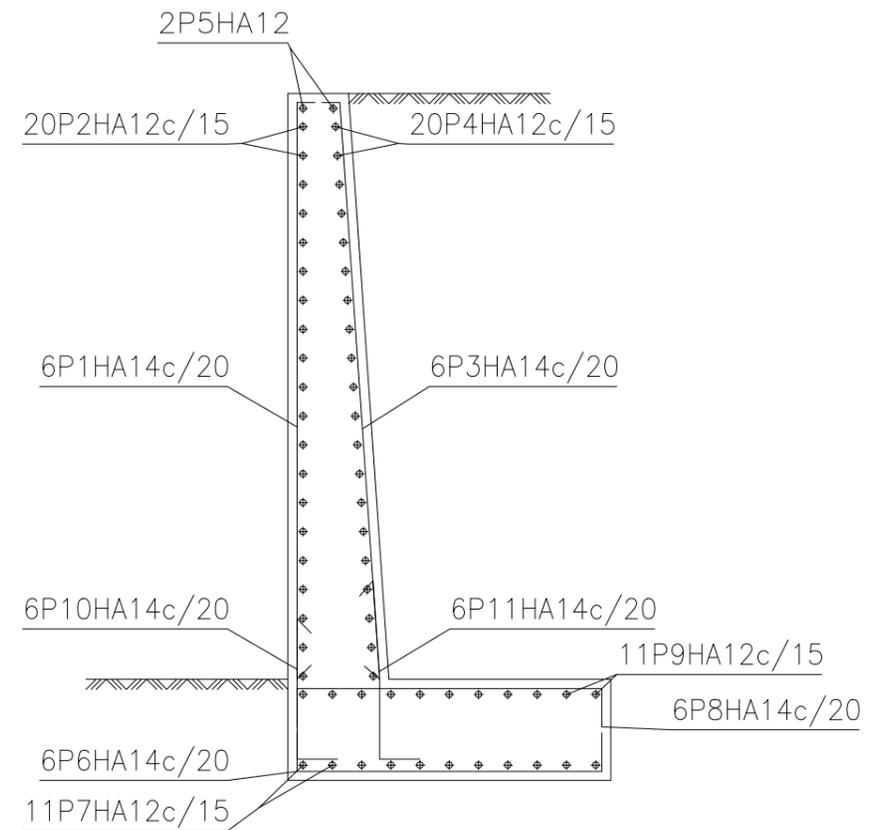
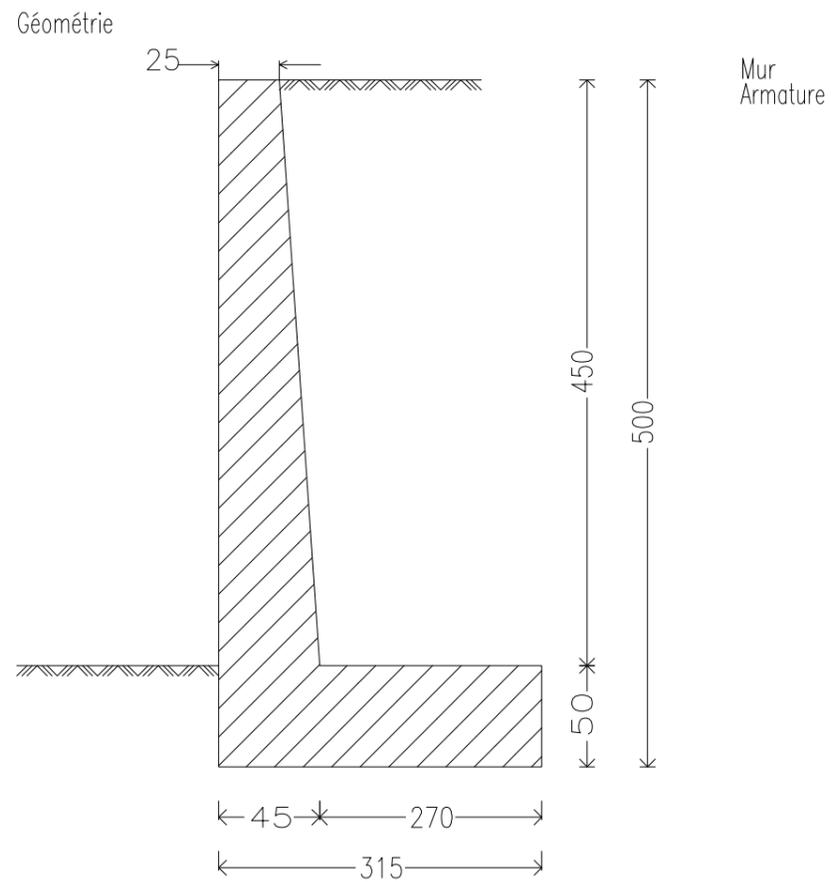
**B) Fond topographique du barrage de KOUGIOU-KANDAGA**





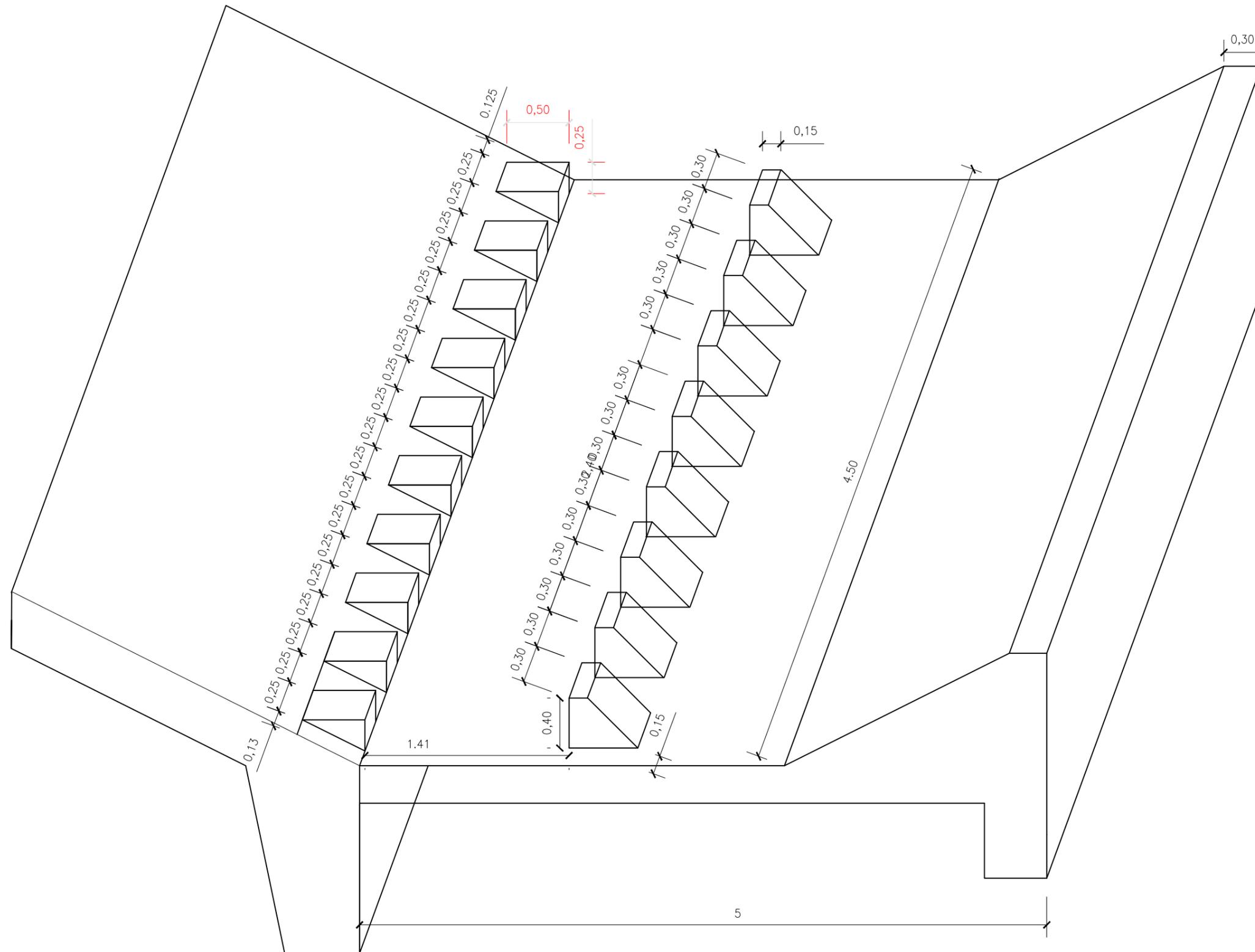


2IE	<b>TITRE : PROFILS EN TRAVERS TYPE DE LA DIGUE</b>		PLAN N°01
Master 2_S10			
Echelle: 1/100			



2iE	<b>Titre : PLAN DE FERRAILLAGE DU MUR BAJOYER</b>		<b>Plan N°2</b>
Master 2_S10			
Ech:1/100	KUETCHE TALLA Franklin	08/12/2017	





2iE

Master 2\_S10

Ech: 1/50

Titre : Bassin de dissipation

KUETCHE TALLA Franklin

09/12/2017

plan N°4