



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



# Etudes Techniques détaillées du Nouveau Barrage de Saalé, dans la commune de PABRE, au Burkina Faso

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
**MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT**  
OPTION : Génie Civil et Hydraulique / Infrastructures et Réseaux Hydrauliques

-----  
Présenté et soutenu publiquement le **29/09/2018** par :

**SOUMANA GOUDIA Oumarou**

Travaux dirigés par :

**M. Moussa LO,**  
Enseignant GCH à 2iE,  
Département Génie Civil et Hydraulique  
Et

**M. Aboubacar NAON**  
Ingénieur du Génie Rural,  
Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques

Jury d'évaluation du Stage :

Président : **Pr. Adamah MESSAN**

Membres et Correcteurs : **Dr. AGOSSOU Daniel**  
**M. Arnaud OUEDRAOGO**  
**M. Moussa LO**

**Promotion [2017/2018]**

## CITATION

« Réussira, certes, celui qui purifie son âme de ses péchés, tandis que sera perdu celui qui la corrompt. »

**(Coran 91 : 9 - 10)**

## DEDICACE

*A mes Parents, frères et sœurs*

## REMERCIEMENTS

Au terme de mes études, je saisis l'heureuse occasion pour adresser mes profonds et vifs remerciements à :

- M. Moussa LO, Enseignant GCH au Département Génie Civil et Hydraulique, 2iE
- M. Aboubacar NAON, Ingénieur du Génie Rural, à la DGIH ;
- Toute la direction et l'ensemble du corps professoral de 2iE, pour la qualité de leur formation ;
- Mr TANGA Martin de la Direction Général des Infrastructures Hydrauliques (DGIH), pour toute l'aide qu'il nous a apporté dans nos recherches documentaires
- L'ensemble des personnels de la DGIH qui ont su m'accueillir, m'intégrer au sein de leur équipe et qui n'ont ménagé aucun effort pour m'assurer la logistique requise afin de mener à bien les activités prévues pendant cette période de Stage.

J'adresse particulièrement un grand remerciement à :

- Dr Dial NIANG, Enseignant-Chercheur et Délégué des Personnels à 2iE ;
- Dr Abdou LAWANE, Chef de Département Génie Civil et Hydraulique à 2iE ;
- Dr Malicki ZOROM, Enseignant-Chercheur à 2iE et SG du Comité F-Synter 2iE ;
- Prof. Hamma YACOUBA, Secrétaire Général à 2iE ;
- Prof. Mahamadou KOITA, Directeur des Enseignements et des Affaires Académiques ;

Pour leurs précieux conseils, leur indéfectible disponibilité et leur patience.

- Je ne saurais clore sans remercier vivement tous ceux qui, de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à l'élaboration du présent mémoire. Qu'ils trouvent tous ici, l'expression de ma profonde reconnaissance.

## RESUME

Ce présent mémoire présente les résultats des études techniques de réalisation d'un **Nouveau barrage** à but hydroagricole à **Saalé (PABRE)**. Le barrage de Saalé est situé à l'exutoire d'un bassin versant de **16 km<sup>2</sup>** pouvant apporter en année moyenne un volume de **1 720 430 m<sup>3</sup>**. Il inondera une superficie de **50,151 ha** avec un volume stockable de **680 506 m<sup>3</sup>** au Plan d'Eau Normal (P.E.N). Son dimensionnement à l'issue de notre étude se présente comme suit :

La digue, calée à la cote **315,25 m** est en remblai homogène argileux avec un couronnement latéritique. Elle a une longueur de **1395 m** y compris le déversoir et une largeur en crête de **3,5 m**. Elle a une hauteur maximale de **4,9 m** avec des talus amont et aval de pentes **1V/2H**.

Le déversoir de **75 m** de long occupe une position centrale, il est de type radier et conçu pour évacuer un débit de **95 m<sup>3</sup>/s**. il est calé à la cote **314 m** et à l'aval se trouve un bassin de dissipation à ressaut de type USBR II.

Une conduite de prise - vidange à la côte **312,00 m** permettront d'irriguer un périmètre situé en aval d'une superficie prévue de **10 ha** avec un diamètre de conduite de **300 mm**.

Le coût de la réalisation du barrage est estimé à **310 552 658 F CFA TTC**.

### Mots clés

---

- 1. Digue homogène argileuse**
- 2. Déversoir section trapézoïdale**
- 3. Irrigation**
- 4. Saalé**
- 5. PABRE**

## ABSTRACT

This document presents the results of the technical studies for the construction of hydro-agricultural dam of Saalé (PABRE). The Saalé's dam is located at the outlet of a catchment area of **16 sq. km** that can bring in a volume of **1 720 430m<sup>3</sup>** in the average year. It will flood an area of **50,151 ha** with a storable volume of **680 506m<sup>3</sup>** at the Normal Water Plan. Its sizing at the end of our study is as follows:

The dike, wedge to the coast **315,25 m** is a homogeneous clay backfill with lateritic coronation. It has a length of **1395 m** including the weir and a crest width of **3,5, m**. It has a maximum height of **4,9 m** with slopes upstream and downstream slopes of **1V / 2H**.

The **75 m** long spillway occupies a semi-lateral position on the left bank; it is of the weight type, designed to evacuate a flow of **95 m<sup>3</sup>/s**. it is wedge to the coast **314** and to the downstream is a dissipation bassin of type **USBR II**.

The drain pipes at the coast **310 m** will irrigate a perimeter downstream area of **10ha**, both have a diameter of **300 mm**. The estimated cost of the dam's realization is **310 552 658 FCFA**.

### Key words

---

- 1. Homogeneous clay dike**
- 2. Trapezoidal section weir**
- 3. Irrigation**
- 4. Saalé**
- 5. PABRE**

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

<b>2iE</b>	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
<b>AEP</b>	: Alimentation en eau potable
<b>CEMAGREF</b>	: Centre du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et des Forêts
<b>CIEH</b>	: Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
<b>CLE</b>	: Comité Local de l'Eau
<b>DGIH</b>	: Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques
<b>DRAAH</b>	: Direction Régionale de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques
<b>DREA-N</b>	: Direction Régionale de l'Eau et de l'Assainissement du Nord
<b>DRRAH</b>	: Direction Régionale des Ressources Animales et Halieutiques
<b>FAO</b>	: Fonds des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation
<b>MEA</b>	: Ministère de l'Eau et de l'Assainissement
<b>ONEA</b>	: Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement
<b>ORSTOM</b>	: Office de Recherche en Sciences et Techniques Outre-Mer
<b>PEN</b>	: Plan d'Eau Normal
<b>PGES</b>	: Plan de Gestion Environnementale et Sociale
<b>PHE</b>	: Plus Hautes Eaux

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Localisation du site de Saalé .....	2
Tableau 2: La répartition de la Population par sexe et par ménage de Saale–RGPH 2006 .....	3
Tableau 3: Structure par âge de la Population de Saale – RGPH 2006 .....	4
Tableau 4: Répartitions de la population par quartiers et sous quartier .....	4
Tableau 5 : Equation de détermination de Kr10 par la méthode de PUECH.....	10
Tableau 6 : : Détermination de la période de retour par la méthode de Degoutte .....	11
Tableau 7 : Formule de EIER - CIEH (GRESILLON) Et KARAMBIRI.....	16
Tableau 8 : Tableau 22 : Estimation de la revanche par l’approche simplifiée revanche par l’approche simplifiée.....	18
Tableau 9: Paramètres pour la vérification de la stabilité externe du déversoir .....	22
Tableau 10: Fiche technique du barrage de Saalé .....	27
Tableau 11 : Détermination de Kr10.....	30
Tableau 12 : calcul de crue décennale par la méthode de RODIER .....	30
Tableau 13 : Calcul de crue décennale par la méthode de régression linéaires du CIEH.....	30
Tableau 14 : Choix de la Crue décennal .....	31
Tableau 15 : Résultat Calcul de Crue.....	31
Tableau 16 : Paramètres pour le tracé de l'hydrogramme de crue .....	31
Tableau 17 : Détermination du coefficient d’écoulement Bulletin Fao .....	32
Tableau 18 : Calculs des apports d’eau sur le Bassin versant.....	32
Tableau 19 : Détermination des apports Méthode Coutagne .....	33
Tableau 20: : Estimation du volume des sédiments .....	33
Tableau 21 : Pertes par évaporation selon POUYAUD .....	34
Tableau 22 : Calcul d’Infiltration.....	34
Tableau 23 : Récapitulatifs des Pertes dans la cuvette.....	35
Tableau 24 : Besoin en Eaux Agricoles .....	35
Tableau 25 : récapitulatif des besoins en eau et pertes .....	36
Tableau 26: Répartition de la surface et du volume en fonction des tranches de côtes .....	36
Tableau 27 : caractéristiques de la retenue.....	38
Tableau 28 : Fruit indicatif des talus des barrages stables .....	40
Tableau 29 : Calcul de la longueur du déversoir du barrage de Saalé .....	42
Tableau 30 : Vérification de non glissement du déversoir.....	43
Tableau 31 : Vérification du non renversement du déversoir .....	43
Tableau 32 : Vérification de la stabilité interne .....	44
Tableau 33 : Détermination de l'enfoncement D du bassin de dissipation .....	44

Tableau 34 : Dimensions des blocs Chicanes ..... 45

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Présentation de la zone d'Etude.....	3
Figure 2: Carte Sol de Saalé.....	5
Figure 3 : Carte de la Végétation de Saalé.....	6
Figure 4 : Paramètres de la digue.....	20
Figure 5: Stabilité externe.....	23
Figure 6: Stabilité interne.....	23
Figure 7: Caractéristiques du bassin de dissipation.....	25
Figure 8 : Analyse statistique des données pluviométriques annuelle de PABRE.....	29
Figure 9 : Analyse des données pluviométrique journalière de PABRE.....	29
Figure 10 : Caractéristiques Bassin versant.....	30
Figure 11 : Hydrogramme de Crue.....	32
Figure 12 : Simulation de la retenue.....	38
Figure 13 : Vérification la stabilité par Géoslope.....	41
Figure 14: Profil en travers de la digue.....	54
Figure 15: Ecoulement dans la digue.....	54
Figure 16: Bassin de dissipation.....	54
Figure 17: Profil en travers de l'évacuateur de crue.....	54

## TABLE DES MATIERES

<i>CITATION</i> .....	<i>I</i>
<i>DEDICACE</i> .....	<i>II</i>
<i>REMERCIEMENTS</i> .....	<i>III</i>
<i>RESUME</i> .....	<i>IV</i>
<i>ABSTRACT</i> .....	<i>V</i>
<i>LISTE DES ABREVIATIONS</i> .....	<i>VI</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i> .....	<i>VII</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i> .....	<i>IX</i>
<i>INTRODUCTION</i> .....	<i>1</i>
<b><i>I. PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE</i></b> .....	<b><i>2</i></b>
<b><i>I.1 OBJECTIFS</i></b> .....	<b><i>2</i></b>
<b><i>I.1.1 Objectif Général</i></b> .....	<b><i>2</i></b>
<b><i>I.1.2 Objectifs spécifiques</i></b> .....	<b><i>2</i></b>
<b><i>I.2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</i></b> .....	<b><i>2</i></b>
<b><i>I.2.1 Localisation et accès</i></b> .....	<b><i>2</i></b>
<b><i>I.2.2 Population (Milieu sociodémographique)</i></b> .....	<b><i>3</i></b>
<b><i>I.2.3 Climat</i></b> .....	<b><i>4</i></b>
<b><i>I.2.4 Relief et sol</i></b> .....	<b><i>4</i></b>
<b><i>I.2.5 La végétation</i></b> .....	<b><i>5</i></b>
<b><i>I.2.6 Hydrographie</i></b> .....	<b><i>6</i></b>
<b><i>II. MATERIELS ET METHODES</i></b> .....	<b><i>7</i></b>
<b><i>II.1 MATERIELS</i></b> .....	<b><i>7</i></b>
<b><i>II.2 METHODES</i></b> .....	<b><i>7</i></b>
<b><i>II.2.1 RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE ET COLLECTE DE DONNEES</i></b> .....	<b><i>7</i></b>
<b><i>II.2.2 LES ETUDES TOPOGRAPHIQUES</i></b> .....	<b><i>7</i></b>
<b><i>II.2.3 LES ETUDES GEOTECHNIQUES</i></b> .....	<b><i>7</i></b>
<b><i>II.2.4 ETUDE PLUVIOMETRIQUE</i></b> .....	<b><i>8</i></b>

II.2.4.1 Définition du type d'analyse ET DES données utilisées.....	8
II.2.4.2 Contrôle des données pluviométriques .....	8
II.2.4.3 Ajustement de la pluviométrie et contrôle d'Ajustement.....	8
II.2.5 ETUDE HYDROLOGIQUE.....	8
II.2.5.1 Caractéristiques du bassin versant .....	9
II.2.5.2 La courbe hypsométrique.....	10
II.2.5.3 Autres caractéristiques du bassin versant.....	10
II.2.5.4 Période de Retour.....	11
II.2.5.5 Détermination de la crue de projet.....	11
II.2.5.6 Hydrogramme des crues.....	13
II.2.5.7 Etude des apports d'eau du bassin versant.....	14
II.2.6 ETUDE DE LA CUVETTE.....	14
II.2.6.1 Courbe Hauteur Volume .....	14
II.2.6.2 Calage du Plan d'Eau Normal.....	15
II.2.6.3 Calage du PHE.....	15
II.2.6.4 Estimation des pertes .....	15
II.2.6.4.1 Les pertes par Dépôts solides.....	15
II.2.6.4.2 Les pertes par Evaporation.....	16
II.2.6.4.3 Les pertes par Infiltration.....	16
II.2.6.5 Estimation des besoins en Eaux .....	17
II.2.7 CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE.....	18
II.2.7.1 LA DIGUE.....	18
II.2.7.1.1 STABILITE DES TALUS DE LA DIGUE .....	20
II.2.7.2 EVACUATEUR DE CRUE.....	20
II.2.7.2.1 STABILITE DU DEVERSOIR .....	21
II.2.7.3 BASSIN DE DISSIPATION A L'AVANT DE L'EVACUATEUR DE CRUE .....	25
<b>III. RESULTATS .....</b>	<b>27</b>
<b>III.1 ETUDES PLUVIOMETRIQUES.....</b>	<b>28</b>
III.1.1 Justification du choix de la période de retour.....	28
III.1.2 Analyse de la pluviométrie de la zone d'étude .....	28
<b>III.2 RESULTATS DES ETUDES HYDROLOGIQUES .....</b>	<b>29</b>
III.2.1 Paramètres du bassin versant.....	29
III.2.2 Détermination de $Kr_{10}$ .....	30
III.2.3 Détermination du débit .....	30
III.2.4 Calcul de l'Hydrogramme de crue.....	31
<b>III.3 ETUDES DES APPORTS .....</b>	<b>32</b>
<b>III.4 LES DEPOT SOLIDES.....</b>	<b>33</b>
<b>III.5 LES PERTES PAR EVAPORATION ET PAR INFILTRATION .....</b>	<b>34</b>

<b>III.6</b>	<b>LES BESOINS EN EAU DE LA CULTURE .....</b>	<b>35</b>
<b>III.7</b>	<b>ETUDE DE LA CUVETTE .....</b>	<b>36</b>
<b>III.8</b>	<b>CHOIX DU TYPE DU BARRAGE ET D'EVACUATEUR DE CRUES .....</b>	<b>39</b>
<b>III.9</b>	<b>DIMENSIONS DU BASSIN DE DISSIPATION .....</b>	<b>44</b>
<b>III.10</b>	<b>CHENAL DE RESTITUTION.....</b>	<b>45</b>
<b>III.11</b>	<b>DISPOSITIF DE SECURITE ET DE SIGNALISATION.....</b>	<b>45</b>
<b>III.12</b>	<b>DIGUETTES DE PROTECTIONS .....</b>	<b>45</b>
<b>III.13</b>	<b>PRISE D'EAU ET VIDANGE DE LA RETENUE .....</b>	<b>46</b>
<b>III.14</b>	<b>BANDES DE SERVITUDES ET BORNAGES DES LIMITES PHE DE LA CUVETTE .....</b>	<b>46</b>
<b>IV.</b>	<b><i>Etudes de base .....</i></b>	<b>46</b>
<b>IV.1</b>	<b>ETUDES GEOTECHNIQUES.....</b>	<b>46</b>
	IV.1.1 Déroulement de l'étude .....	46
	IV.1.2 Résultats des études géotechniques .....	47
<b>IV.2</b>	<b>ETUDES TOPOGRAPHIQUES .....</b>	<b>47</b>
<b>IV.3</b>	<b>ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL .....</b>	<b>47</b>
	<b><i>CONCLUSION.....</i></b>	<b>48</b>
	<b><i>RECOMMANDATIONS.....</i></b>	<b>49</b>
	<b><i>BIBLIOGRAPHIE .....</i></b>	<b>50</b>
	<b><i>Annexes.....</i></b>	<b>53</b>

## Fiche technique du barrage de Saalé

<b>Caractéristiques</b>	
<b>I. Localisation</b>	
Région/Province/Département	Centre /Kadiogo/ Pabre
Localité	Saalé
Accès au site	A une vingtaine de Km de Pabré
Coordonnées	X= 642987,03    et Y= 1388666,23 m
<b>II. Bassin Versant</b>	
Superficie	16,27 km <sup>2</sup>
Périmètre	29,92 km
Débit de crue du projet	92,3 m <sup>3</sup>
Apports liquide en année quinquennale sèche	1 720 438 m <sup>3</sup>
Apports liquide en année moyenne	1 016 470 m <sup>3</sup>
<b>III. Retenue</b>	
Cote PEN	314,00 m
Capacité Normale	680 506 m <sup>3</sup>
<b>IV. Digue</b>	
Type	Argile Homogène
Côte	315,25 m
Hauteur maximale	4,9 m
Largeur en crête	3,50 m
Pente talus amont	1V /2 H
Pente talus aval	1V /2 H
Longueur totale	1395m
Protection talus amont	2/1 (perré sec)
Protection talus aval	2/1 (perré sec)
<b>V. Evacuateur de crue</b>	
Type	Déversoir Poids trapézoïdale
Côte de calage	314,00m
Hauteur maximale	3,65 m
Longueur	75 m

Revanche	1 m
Rampes	Béton cyclopéen
<b>VI. Bassin de dissipation</b>	
Type Bassin de dissipation	USBR II
Longueur bassin	75 m
Largeur	4,00m
Cote	310
<b>VII. Chenal d'évacuation</b>	
Nature	En terre
Longueur	80
Largeur	95
<b>VIII. Ouvrage de prise</b>	
Nature	Fonte
Diamètre	300
Longueur	20,80
Cote de calage	312,00
<b>IX. Diguettes de Protection</b>	
Largeur en crête	3,00
Constitution	Argileux
Longueur	2*80,00m
Cote de calage	311,85
<b>X. Coût total des travaux</b>	<b>310 552 658 FCFA</b>

## INTRODUCTION

La mobilisation des ressources en eau de surface en milieu rurale s'inscrit dans le Programme National de développement Economique et Social (PNDES) du Burkina Faso et est en cohérence avec la Stratégie National de développement durable de l'agriculture irriguée.

En vue de contribuer durablement à la lutte contre l'insécurité alimentaire tout en accroissant les revenus agricoles des populations, le Gouvernement du Burkina Faso a opté pour la valorisation des terres agricoles à travers des aménagements hydrauliques depuis les années des indépendances. Cette volonté a été reprise dans la stratégie nationale de développement de la culture irriguée et réaffirmée dans le Programme National de Développement Economique et Social pour la période 2016-2020 dont l'ambition est d'accroître la part des productions irriguées dans la production agricole totale de 15% en 2015 à 25% en 2025. Elle se justifie par les contributions suivantes :

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

Pour ce faire, le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA) à travers la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques a identifié des sites potentiels à la réalisation de nouveaux barrages dans plusieurs villages parmi lesquels on peut citer celui du village Saalé. Dans cet objectif, le MEA au titre du budget 2018 envisage la réalisation d'études préalables auxdits ouvrages avant toute intervention en particulier dans le village de Saalé.

C'est pourquoi, il est envisagé la réalisation des dossiers techniques du barrage de SAALE, c'est dans ce cadre nous avons mené les études de faisabilité, d'avant-projet sommaire, avant-projet détaillée de réalisation du barrage de SAALE (village de Saale, commune rurale de PABRE, Province de KADIOGO, région du centre) 'Nouveau barrage '.

# I. PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE

## I.1 OBJECTIFS

### I.1.1 OBJECTIF GENERAL

L'objectif général de ce présent rapport est d'établir un dossier technique pour la réalisation d'un Nouveau barrage dans la commune rurale de PABRE.

### I.1.2 OBJECTIFS SPECIFIQUES

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Analyser et Exploiter les Eudes de bases, Pour définir le débit de projet
- Faire la conception et le dimensionnement des ouvrages,
- De proposer le devis quantitatif et estimatif des travaux,

## I.2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

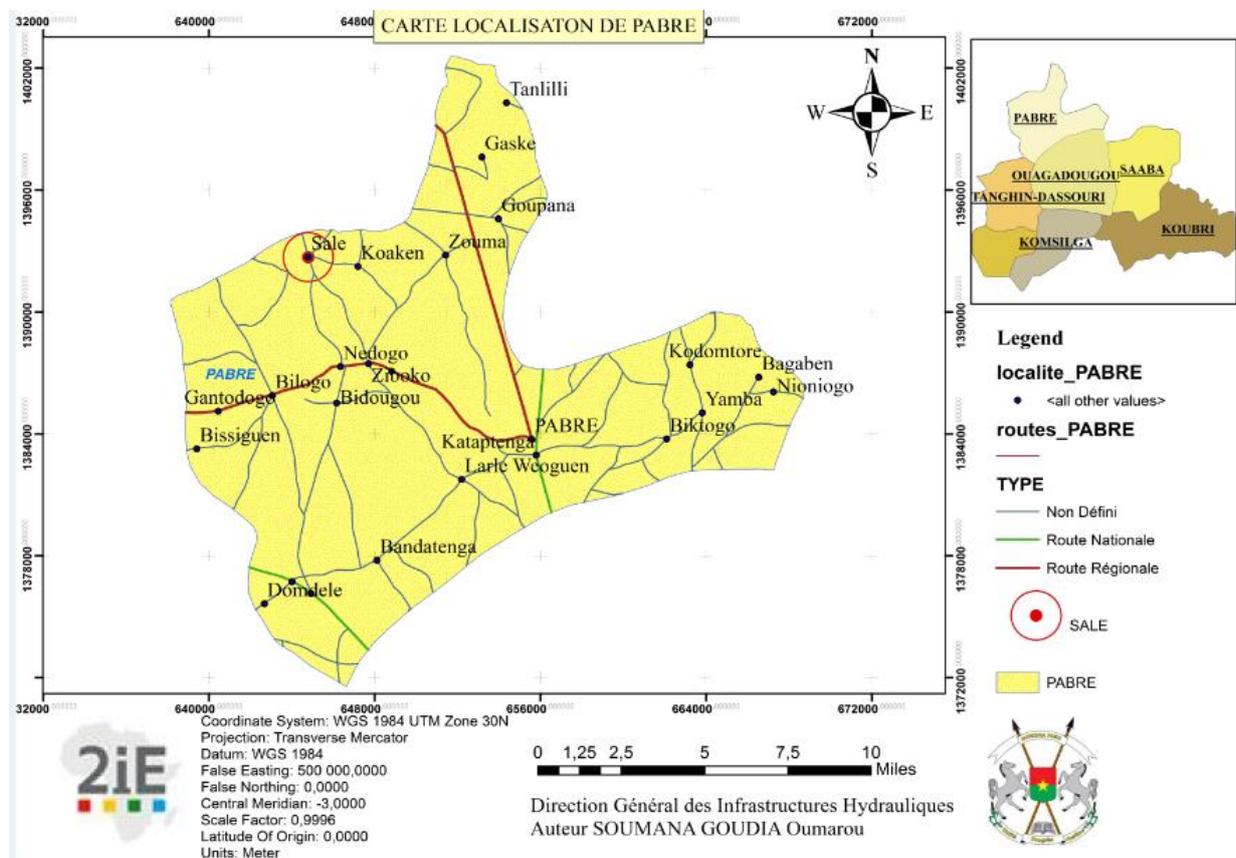
### I.2.1 LOCALISATION ET ACCES

La commune de PABRE est l'une des six communes rurales de la province du KADIOGO, située dans la région du centre. Elle compte une superficie de 411,27 km<sup>2</sup> et 21 villages dont entre autres, le village de SAALE. Les coordonnées géographiques du site sont :

**Tableau 1 : Localisation du site de Saalé**

Coordonnées géographiques UTM, WSG 1984		Coordonnées UTM, WSG 1984		Point de référence
Longitude	Latitude	X	Y	
01° 47' 17'' W	12° 16' 52'' N	631801,88	1357935,24	<b>AXE de la Digue</b>

La localisation de la zone d'étude est matérialisée sur la figure 1.



## I.2.2 POPULATION (MILIEU SOCIODEMOGRAPHIQUE)

Sur le plan démographique, Les résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH 2006) faisaient état de 1883 habitants (+3,04% par an) en 2006 et 278 Ménages (7 habitants par ménages). Suivant le genre, la tranche de femmes est dominante (53,85%).

*Tableau 2: La répartition de la Population par sexe et par ménage de Saalé-RGPH 2006*

Village	Nombres de ménages	Hommes	Femmes	Total	% Femmes	Population 2017
Saalé	278	869	1014	1883	53,85	2634

**Source :** Adaptées des données RGPH 2006. INSD

Pour la structure, La population est majoritairement composée de Mossé avec quelques peulhs et est plutôt jeune avec 46,20% de la population ayant moins de 15 ans (INSD, 2006).

*Tableau 3: Structure par âge de la Population de Saale – RGPH 2006*

Tranches d'âge	0-14ans	15-16ans	65ans ou +	AGE N.D
Effectifs	900	870	90	23
Pourcentage	47,80	46,20	4,78	1,22

**Source :** Adaptées des données RGPH 2006.INS D

L'organisation social et traditionnelle se caractérise essentiellement par la coexistence pacifique des habitants sous le leadership d'un chef de village (Teng-Naaba) et un chef de terre (Teng-Soba). Saalé est organisé en quatre grands quartiers et deux sous quartiers

*Tableau 4: Répartitions de la population par quartiers et sous quartier*

Quartiers	Gounghin	Konkin	Yandega	Soukومتenga
Effectifs	143	137	1167	157
Sous Quartiers	Yakin		Yadingha	
Effectifs	182		192	

### I.2.3 CLIMAT

Située dans la zone soudano-sahélienne, la commune de Pabré connaît un climat tropical avec deux saisons :

- Une saison pluvieuse qui s'étend de mai à octobre amenée par les vents de mousson chargés de nuages et soufflant de la mer vers le Sahara.
- Une saison sèche, la plus longue va d'octobre à mai.

### I.2.4 RELIEF ET SOL

Ce sont des sols essentiellement ferrugineux tropicaux, de type latéritico-argileux, reposant sur une grande masse de granite fissurée. Il y a également des sols pauvres, fragiles et lessivés par l'érosion. On distingue quatre classes de sols :

- Les sols minéraux bruts ou lithosols, caractérisés par une cuirasse ou carapace ferrugineuse, ou par une roche brute affleurante ;
- Les sols peu évolués de couleur brune en surface et grisâtre ou brun-pâle en profondeur ;
- Les sols ferrugineux tropicaux lessivés ;
- Les sols hydro morphes qui sont des sols limoneux ou limono-argileux avec quelques concrétions ferrugineuses.

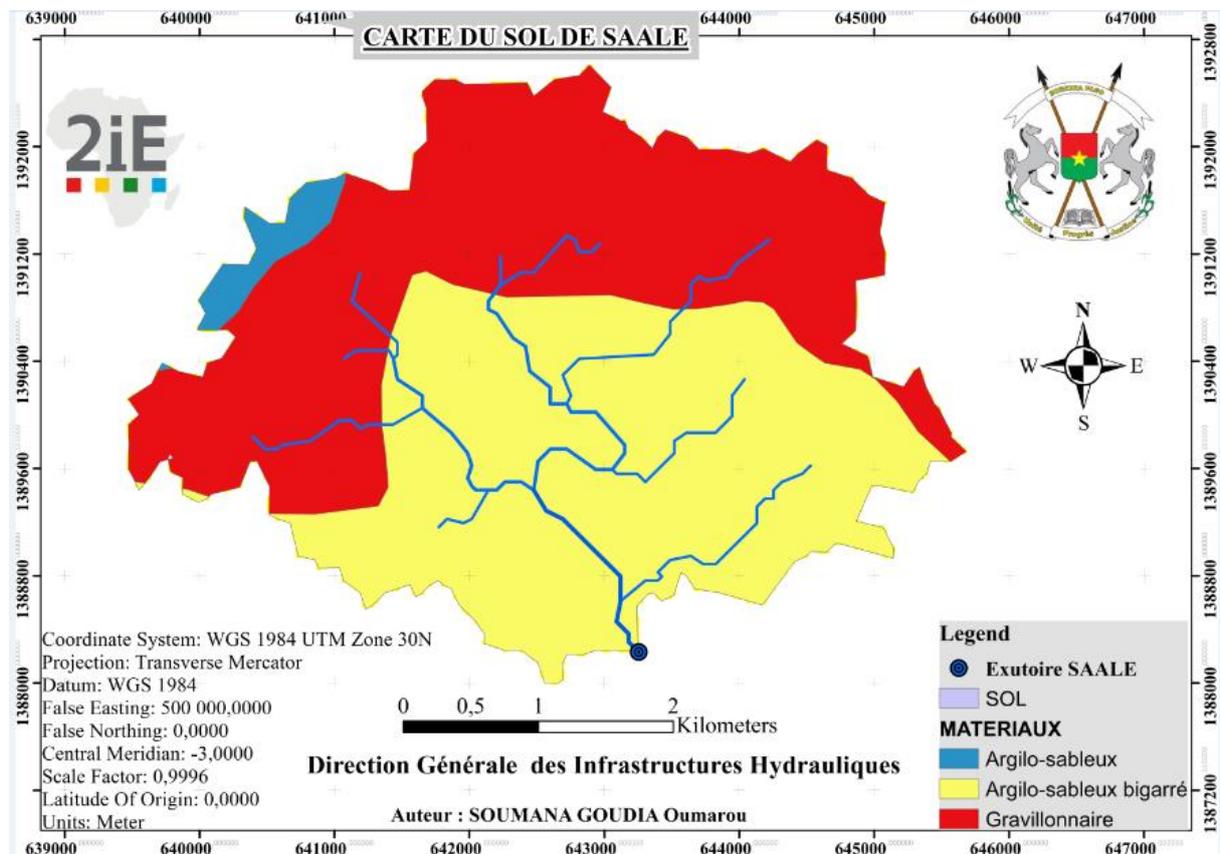


Figure 2: Carte Sol de Saalé

### I.2.5 LA VEGETATION

Le couvert végétal dominant dans les villages de la commune de Pabré est la savane arbustive claire, parsemée de quelques grands arbres et une strate herbacée. Le long des axes de drainage des cours d'eau, on note une végétation tropicale.

Le couvert végétal se compose essentiellement d'arbres de taille moyenne tels que le karité d'arbustes épineux et d'herbes. Le long des cours d'eau s'est développée une savane boisée.

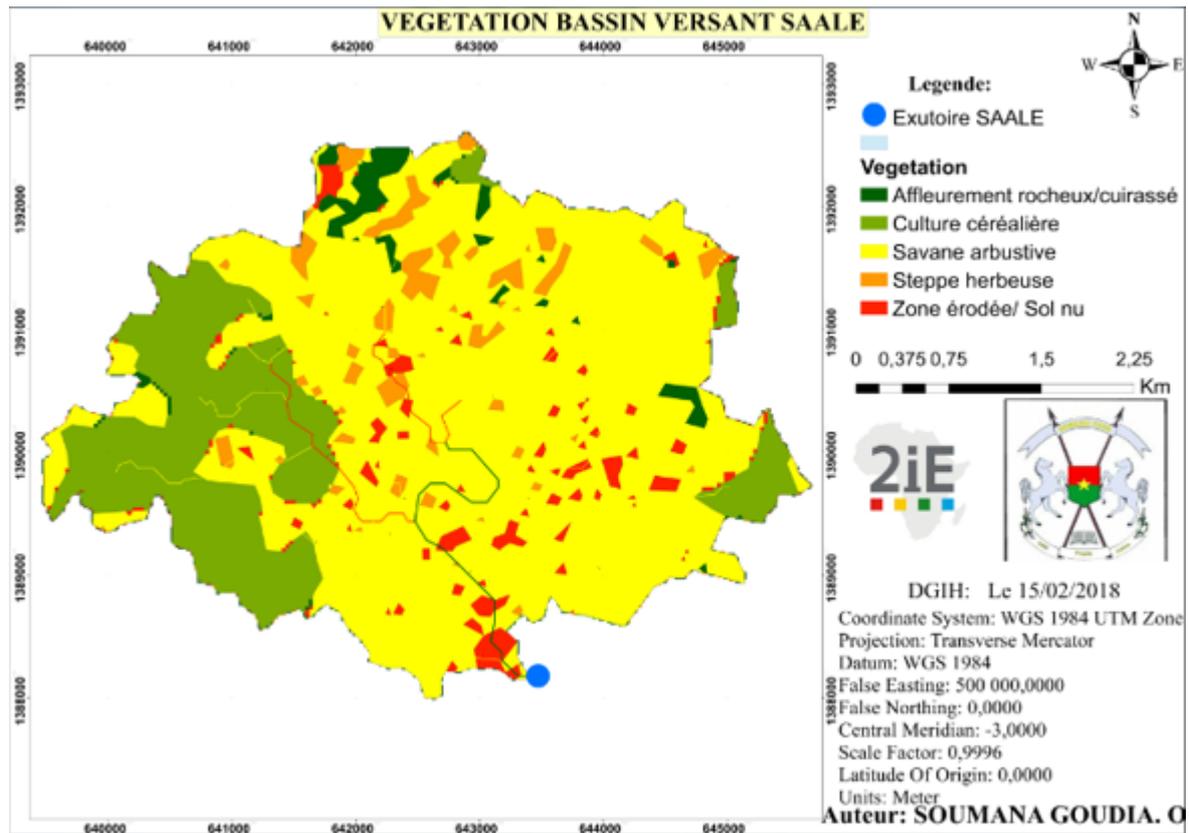


Figure 3 : Carte de la Végétation de Saalé

### I.2.6 HYDROGRAPHIE

Les cours d'eau qui traversent la commune de Pabré sont constitués des affluents et ramifications des rivières qui coulent vers le bassin du Nakanbé (ex volta blanche). Ce sont les ramifications du barrage de Loubila, du Massili et du Nakanbé.

Drainant beaucoup d'eau pendant la saison pluvieuse, ils sont tous à sec pendant la saison sèche.

Sur ces principaux cours d'eau on a aménagé des barrages et des retenues d'eau :

- Le barrage du petit séminaire de Pabré (qui constitue notre projet d'étude) ;
- Le barrage de Gaskaye ;
- Le barrage de Zibako.

## II. MATERIELS ET METHODES

### II.1 MATERIELS

Pour mener à bien l'étude, du matériel et un certain nombre d'outils ont été utilisés en fonction des objectifs à atteindre :

- **Un GPS** : pour relever les coordonnées sur le site ;
- **COVADIS 2007** : pour le tracé des profils en long ;
- **CROPWAT 8.0** : pour la détermination des coefficients culturaux ;
- **ArcGIS Et GLOBAL MAPPER** : pour la caractérisation du bassin versant et l'élaboration des cartes ;
- **Géoslope** : pour l'étude de la stabilité des talus de la digue ;
- **Autocad** : pour l'élaboration des pièces dessinées du projet ;
- **Hyfran** : pour l'ajustement de la pluviométrie annuelle et maximale journalière respectivement à la loi de **Gauss** et à celle de **Gumbel** ;
- Et aussi les outils comme **WORD** et **EXCEL** pour le calcul et la rédaction du rapport.

### II.2 METHODES

Notre étude se base sur une méthodologie s'établissant comme suit :

#### II.2.1 RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE ET COLLECTE DE DONNEES

Elle a consisté à consulter les documents comme les anciens rapports d'études de barrages, les livres, les cartes, les cours à la bibliothèque et sur internet au sujet de l'étude de conception et de dimensionnement des barrages et aussi des visites de terrain.

#### II.2.2 LES ETUDES TOPOGRAPHIQUES

Les travaux topographiques ont porté sur la mise en place d'une polygonale de base sur l'ensemble du site servant d'ossature aux levés de détails permettant la restitution de plans cotés.

#### II.2.3 LES ETUDES GEOTECHNIQUES

Des travaux de reconnaissance géotechnique ont été menés pour identifier le sol de la fondation de l'axe du barrage et rechercher des emprunts de matériaux de construction (matériau de

remblai compacté, sable, gravier, agrégats de béton et moellons).

## II.2.4 ETUDE PLUVIOMETRIQUE

### II.2.4.1 Définition du type d'analyse ET DES données utilisées

L'analyse statistique, de la série de pluies a été faite sur deux échantillons de données pluviométriques recueillies à la station synoptique de PABRE :

- Série des pluies moyennes annuelles : 1987 – 2016 (30 valeurs), ajustement à la loi de **GAUSS**, avec pour fonction de répartition :  $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$   
Avec :  $u = \frac{x-\bar{x}}{s}$  ; la variable réduite ;

Cette lois présente deux paramètres qui sont : la moyenne  $\bar{x}$  et l'écart type  $s$ .

- Série des pluies maximales journalières : 1987– 2016 (30 valeurs), ajustement à la loi de **GUMBEL**, avec pour fonction de répartition :  $F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}}$   
Avec :  $x_0$  : le paramètre de position;  $\frac{1}{a}$  : paramètre d'échelle

Nous avons utilisé le logiciel **Hyfran** plus pour vérifier les quantiles correspondants à des périodes de retour données avec un niveau de confiance de 95%.

### II.2.4.2 Contrôle des données pluviométriques

Nous utilisons la méthode des moyennes mobiles sur cinq (5) et onze (11) ans afin de contrôler de les données de pluviométriques de de la station de PABRE.

Les graphiques en [Annexe 2](#), montrent que les données ne présentent aucune anomalie.

### II.2.4.3 Ajustement de la pluviométrie et contrôle d'Ajustement

La série de données s'ajuste afin de définir pour les moyennes annuelles et les maximales journalières les quantiles caractéristiques, à un niveau de confiance de 95 %.

Le contrôle d'ajustement se fera avec le logiciel HYFRAN (résultats consignés en [Annexe 3](#)).

## II.2.5 ETUDE HYDROLOGIQUE

L'hydrologie c'est la science étudiant le régime des cours d'eau et permet de quantifier les données hydrologiques nécessaires pour projeter un aménagement. C'est pourquoi tout projet d'aménagement sur un cours d'eau nécessite, pour le dimensionnement des ouvrages, la connaissance de données quantitatives concernant le régime des débits de ce cour d'eau. Pour

notre cas (Barrage de retenue), nous devons :

- Déterminer, en fonction des apports d'eau qui n'est autres que le volume de la retenue, la hauteur de notre barrage.
- Déterminer le débit pour dimensionner l'évacuateur qui permet de faire déborder la crue par-dessus du barrage sans dégâts majeurs.

### II.2.5.1 Caractéristiques du bassin versant

#### ☞ La taille du bassin et sa morphologie

La délimitation du bassin versant a été réalisée à l'aide des logiciels Google Earth, Global Mapper et ArcGIS. Ainsi nous avons déterminés la taille du bassin et la forme du bassin qui a permis de déterminer le type de réseau hydrographique auquel appartient notre bassin.

**La pente longitudinale I** : elle influe de manière notable sur les débits de crues en augmentant ou en diminuant les vitesses de ruissellement suivant que la pente est forte ou faible. Elle est obtenue à partir de la formule de **GRESILLON** :

$$I = \frac{0,026}{\sqrt{S}} \quad \begin{array}{l} I : \text{pente longitudinale du bassin versant en } \text{‰} \\ S : \text{l'aire du bassin versant en Km}^2 ; \end{array}$$

**L'Indice de compacité de Gravélius (KG)** : il renseigne sur la forme du bassin

$$K_G = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{S}} \quad \begin{array}{l} K_G \text{ sans unité} \\ P : \text{le périmètre du bassin versant en Km} \\ S : \text{l'aire du bassin versant en Km}^2 \end{array}$$

**La longueur du rectangle équivalent (Leq)** : C'est la longueur d'un rectangle de même superficie, même indice de compacité et même distribution hypsométrique que le bassin versant.

$$Leq = \frac{KG * \sqrt{S}}{1,128} * \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{KG} \right)^2} \right] \quad \begin{array}{l} Leq \text{ en Km} \\ KG : \text{indice de compacité (sans unité)} \\ S : \text{l'aire du bassin versant en Km}^2 \end{array}$$

**Indice global (Ig) de pente** : il caractérise le relief du bassin versant

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_{eq}} \quad \begin{array}{l} Leq: \text{longueur du rectangle équivalent} \\ I_g \text{ en m/Km} \\ H_{5\%} : \text{altitude à un pourcentage de surface de 5\%} \\ H_{95\%} : \text{altitude à un pourcentage de surface de 95\%} \end{array}$$

Lorsque les pentes transversales du bassin versant sont peu différentes de  $I_g$  (différence de moins de 20%), ce dernier représente assez bien la pente du bassin. Dans le cas contraire, on calcule un indice de pente global corrigé ( $I_{gcor}$ )

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

$n$  : coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent

$I_g$  : indice globale de pente en m/Km

$I_t$  : pente transversale en m/Km

**Dénivelée spécifique  $D_s$**  : elle est fonction de l'indice global de pente et de la racine carrée de la superficie du bassin versant. Une valeur de dénivelle spécifique inférieure à 50 m traduit un relief faible. Le relief est modéré lorsque la dénivelée est comprise entre 50 et 100 m, et fort au-delà de 100 m.

$$D_s = I_g * \sqrt{S}$$

$I_g$  : indice globale de pente en m/Km

$S$  : l'aire du bassin versant en  $Km^2$

**La densité de drainage ( $D_d$ )**: elle se définit comme étant la longueur de réseau hydrographique par unité de surface :

### II.2.5.2 La courbe hypsométrique

Elle représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction des altitudes.

### II.2.5.3 Autres caractéristiques du bassin versant

#### ☞ Le coefficient de ruissèlement décennal ( $Kr_{10}$ )

C'est le rapport du volume de ruissèlement au volume précipité. Ce coefficient est très difficile à estimer et son évaluation se base sur des critères relativement subjectifs. C'est pourquoi nous utilisons plusieurs méthodes pour la détermination de ce coefficient  $Kr_{10}$ .

✚ La méthode de **PUECH et CHABI-GONNI en 1983**, fonction de la géologie et de la pluie annuelle déterminée.

Tableau 5 : Equation de détermination de  $Kr_{10}$  par la méthode de PUECH

Catégorie	Formule	$K_{r10} = \sum_{i=1}^5 a_i K_i$
Granites	$K_1 = 2300P_{an}^{-0,67}$	
Grès	$K_2 = 300P_{an}^{-0,375}$	
Sables	$K_3 = 2,10^7 P_{an}^{-2,2}$	

Argile marnes	+	$K_4 = 300P_{an}^{-0,3}$	Avec $a_i = \% \text{ de sol de type } i$
Schistes		$K_5 = 370P_{an}^{-0,375}$	

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

### ✚ La méthode de ORSTOM de détermination de KR10

$kr_{70} \text{ ou } kr_{100} = \frac{a}{S + b} + c$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>kr_{10}</math> (%) : Coefficient de ruissellement décennal</li> <li>- <math>kr_{100}</math> (%) : Coefficient de ruissellement centennal</li> <li>- S (km<sup>2</sup>) : Surface du bassin versant</li> </ul>
--	--

#### ☞ Coefficient de pointe ( $\alpha_{10}$ )

C'est le rapport du débit maximum ruisselé au débit moyen. Il est défini par la relation

$$\alpha_{10} = \frac{Qr_{10}}{Qm_{10}}$$

On admet que  $\alpha_{10}$  est voisin de **2,6** quelle que soit la superficie du bassin.

#### II.2.5.4 Période de Retour

La période de retour du débit de sécurité est déterminée par la méthode de **DEGOUTTE** en comparant le rapport suivant :  $H^2/\sqrt{V}$

H : hauteur du barrage

V : volume en hectomètre cube du barrage

*Tableau 6 : Détermination de la période de retour par la méthode de Degoutte*

$H^2/\sqrt{V}$	< 5	5 à 30	30 à 100	100 à 700	≥ 700
Ts (ans)	100	500	1 000	5 000	10 000

Source : Petits barrage : recommandation pour la conception, la réalisation et le suivi. G. DEGOUTTE 1997. Page 25.

#### II.2.5.5 Détermination de la crue de projet

Nécessaire pour le dimensionnement de l'évacuateur, Nous retiendrons la crue capable d'évacuer sans dommages, afin de se mettre dans une plus grande sécurité. Pour la pertinence de ce paramètre, qui est très délicat, nous utiliserons plusieurs formules :

✚ La méthode **ORSTOM** ‘Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer’ de **AUVREY – RODIER**

En zone sahélienne et pour un bassin versant relativement imperméable, la formule est la suivante :

$Q_{10} = 1,05 * A * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}}$	$\alpha_{10}$ : coefficient de pointe décennal
	$P_{10}$ : précipitation décennale journalière, en mm
	$S$ : superficie du bassin versant en km <sup>2</sup>
	$T_{b10}$ : temps de base en min
	$K_{r10}$ : coefficient de ruissellement
	$A$ : coefficient d’abattement
	$Q_{10}$ : débit de pointe décennal en m <sup>3</sup> /s

☞ **Le coefficient de ruissellement décennal**

L’estimation du coefficient de ruissellement Kr10 est faite par interpolation linéaire entre les valeurs Kr70 et Kr100.

☞ **Coefficient d’abattement**

Le coefficient d’abattement A est déterminé par l’équation simplifiée de **Villaume en 1974**.

$$Pm_{10} = A * P_{10} \quad \text{Avec :}$$

$A = 1 - \left( \frac{162 - 0,042 * P_{an}}{1000} \right) * \log(S)$	A : Coefficient d’abattement
	Pm <sub>10</sub> (mm) : Précipitation moyenne décennale
	P <sub>10</sub> (mm) : Précipitation maximale décennale
	S (km <sup>2</sup> ) : Superficie du bassin versant

Nous obtenons **A= 0,85**, mais adopterons **1** pour la suite des calculs.

✚ La méthode de régressions linéaires du **CIEH**

Cette méthode se base sur les études du **CIEH (C. Puech et D. Chabi Gonni)**, de statistiques de plusieurs variantes fonction de l’appartenance du bassin à un découpage climatique, une position géographique, un découpage pour un pays ou un groupe.

$$Q_{10} = a * S^s * P_{an}^p * I_g^i * K_{r10}^k * D_d^d$$

$S$  : superficie du bassin versant en  $km^2$

$I_g$  : Indice globale de pente en m/km

$P_{an}$  : Pluie annuelle moyenne en mm

$D_d$  : densité de drainage en  $km^{-1}$

$K_{r10}$  : coefficient de ruissèlement

$a, s, p, i, k, d$  : coefficients

Les formules des équations que nous utiliserons pour le Burkina Faso sont les 39 et 40 consignés en [Annexe 4](#).

#### ✚ La méthode du **Gradex**

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

$C$  = coefficient de majoration

$Q_{10}$  : débit de crue décennal

$$C = \left[ 1 + \left( \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \right) \times \frac{\left( \frac{T_{b10}}{24} \right)^{0,12}}{K_{r10}} \right]$$

$T_{b10}$  = Temps de base (h)

$K_{r10}$  = coefficient de ruissèlement

$P_{10}$  : pluie décennale (mm)

$P_{100}$  : pluie centennale (mm)

### II.2.5.6 Hydrogramme des crues

Il donne l'évolution de la crue au cours du temps. L'hydrogramme de la crue du projet sera un hydrogramme schématique en trois tronçons linéaires (proposé par Grésillon, Herter et Lahaye) construit avec les temps de base et de montée déterminé à l'aide des abaques de l'ORSTOM. Le changement de pente de la décrue s'effectue à un débit  $Q_d$  dit débit de discontinuité et dont la valeur est fixée par la relation.

$$d = \frac{2 * Q_P * (T_{b10} - \alpha_{10} * T_{m10})}{\alpha_{10} * (T_{b10} - 2 * T_{m10})}$$

$Q_d$ : Débit de discontinuté ( $m^3/s$ )

$Q_P$ : Débit de pointe ( $m^3/s$ )

$T_b$ : Temps de base (min)

$T_m$ : Temps de montée (min)

### II.2.5.7 Etude des apports d'eau du bassin versant

On entend par apports liquides, la quantité d'eau susceptible d'arriver à l'exutoire du barrage pendant une période considérée.

Quatre Méthodes, les plus connues et les plus fréquemment utilisés en Afrique francophone de de l'ouest, permettent de calculer les écoulements d'eau en l'absence des données Hydrométriques sur le bassin versant. Parmi celles-ci nous retenons la Méthode de **RODIER** pour estimer ces derniers, Nous procéderons au calcul par deux Méthode :

$V = Ke \times S \times P$	<p><math>P</math> = Pluviométrie annuelle (mm)</p> <p><math>S</math> = Superficie du Bassin Versant (Km<sup>2</sup>)</p> <p><math>Ke</math> = <i>Coefficient d'écoulement</i></p>
----------------------------	---

#### ☞ Détermination du coefficient d'écoulement (Bulletin FAO 54 )

Les coefficients d'écoulement extrême pour le zone de SAALE peuvent être approchées par la Méthode **RODIER de l'ORSTOM**.

☞ L'estimation du coefficient d'écoulement se fera par la formule de Coutagne ci-dessous présentée.

$D = P - \lambda P^2$	Avec	$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 * \bar{T}}$ <p><math>P</math> (mm): La pluviométrie moyenne annuelle</p> <p><math>D</math> (mm):Le déficit pluviométrique</p>
-----------------------	------	--

## II.2.6 ETUDE DE LA CUVETTE

### II.2.6.1 Courbe Hauteur Volume

La topographie de la cuvette a été étudiée d'après le plan coté établi à l'échelle 1/2000<sup>ème</sup>. Les courbes de niveau ont été fermées de la courbe ayant la cote 273 à la courbe ayant la cote 286. Le plan topographique de la cuvette a permis d'établir les courbes hauteur volume et hauteur surface. Elles donnent les différents volumes d'eau et les surfaces pour chaque courbe de niveau de la retenue projetée.

$$Vi = (S_{i-1} + S_i) * \frac{\Delta h}{2}$$

Avec

- ✦  $V_i$  : volume d'eau entre les courbes de niveau  $i - 1$  et  $i$
- ✦  $S_{i-1}$  : surface du plan d'eau correspondant à la courbe  $i - 1$ , ( $h_{i-1}$ )
- ✦  $S_i$  : surface du plan d'eau correspondant à la courbe  $i$ , ( $h_i$ )
- ✦  $\Delta h$  : dénivelée entre les deux courbes de niveau  $i - 1$  et  $i$ , soit  $h_i - h_{i-1}$

Le volume  $V$  de la retenue correspondant à une hauteur  $h_i$  est donné par la relation suivante :

$$V = \sum V_i$$

Ainsi, en appliquant ces relations pour chaque hauteur du plan d'eau, on détermine le volume de la retenue en fonction de sa hauteur.

### II.2.6.2 Calage du Plan d'Eau Normal

Le calage du Plan Normal des Eaux permet de définir la capacité de stockage de la retenue. Il est important de tenir compte des besoins en eau mais aussi de la présence de certains éléments sur l'espace occupé par la cuvette et aussi de la topographie de la zone. Etant donnée la vocation future du barrage (hydroagricole) nous avons calée le plan d'eau de sorte à ce que le volume d'eau à stocker soit maximal même en période sèche.

#### ☞ **Lame d'eau déversant**

La lame d'eau déversant au-dessus de seuil sera pris conformément au recommandation de (Compaoré, 1996) page 98 qui place la plage de lame d'eau ente 0,6 et 1,5 m.

### II.2.6.3 Calage du PHE

La côte du PHE est déterminée en faisant l'addition la cote PEN à la lame d'eau au-dessus du seuil.

$$PHE = PEN + h$$

- ✦  $PHE$  = Plan des Hautes Eaux (m)
- ✦  $PEN$  = Plan d'Eau Normal (m)
- ✦  $h$  = la charge de l'eau au-dessus du seuil (m)

### II.2.6.4 Estimation des pertes

#### II.2.6.4.1 Les pertes par Dépôts solides

Les pertes par sédimentation sont estimées par plusieurs formules empiriques, celles de

**GOTTSCHALK, KARAMBIRI et du GRESILLON :**

*Tableau 7 : Formule de EIER - CIEH (GRESILLON) Et KARAMBIRI*

Formule de GOTTSCHALK	$D = 260 * S^{-0,1}$	S : la superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )
Formule de EIER - CIEH(GRESILLON)	$D = 700 * \left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2} * S^{-0,1}$	P : le périmètre du bassin versant (km) D: la dégradation spécifique annuelle (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /an).
KARAMBIRI	$D = 137 * \left(\frac{P}{700}\right)^{-2,02} * S^{-0,05} * [0,25 + 1,13 * (h + r)]^{1,15}$	Vs = D * S * n

**II.2.6.4.2 Les pertes par Evaporation**

Nous utiliserons les méthodes qui consistent à utiliser les valeurs de l’Evaporation mesurées sur un bac dit de « de Classe A ».

Selon **POUYAUD (1985)** l’évaporation obtenue à partir du BAC A doit être corrigée par la formule suivante :

**Evaporation  $E_{ret}$  (mm/j)**

$E_{ret} = 1,664 E_{bac}^{0,602}$	$E_{bacA}$ : évaporation BAC A (mm/j)
-----------------------------------	---------------------------------------

Les pertes sont généralement considérées dans un rapport de 0.5 à 0.68, à partir de la surface de la retenue d’eau.

**II.2.6.4.3 Les pertes par Infiltration**

Les valeurs proposées par pour l’estimation de l’infiltration dans la cuvette de la retenue d’Eau varient généralement de 1mm/jour a plus de 3mm/jour et dépendent fortement de la perméabilité du matériau de la cuvette.

En considérant le matériau identifié dans la cuvette à prédominance argilo-limoneux, nous

adopterons une valeur de **3mm/jr**. Cette valeur peut connaître pourrait connaître une baisse rapide avec la mise en eau du barrage due au dépôt des fines particules d'argiles et de limons qui favorise le colmatage de la cuvette.

### **II.2.6.5 Estimation des besoins en Eaux**

#### **Évaluation des besoins en eau des cultures**

Après le choix de la spéculatation pour le maraichage (la tomate, l'oignon, et le chou), La riziculture constitue la première activité de la zone du projet. Elle est pratiquée en saison pluvieuse. Nous évaluerons les besoins en eaux en fonction de la superficie de 10 ha qui sera aménagée en aval du barrage. Cette évaluation se fera en fonction de la culture la plus contraignante qui est le riz et les besoins bruts seront estimés partir des paramètres suivants :

- ✦ Evapotranspiration de référence (ET<sub>o</sub>) ;
- ✦ Efficience du système d'irrigation (E) ;
- ✦ Coefficient culturaux (K<sub>c</sub>) ;
- ✦ Besoins nets (B<sub>n</sub>) ;
- ✦ Surface totale à irriguer (S)

Les besoins bruts (B<sub>b</sub>) des plantes ont été estimés à l'aide de CropWat 8.0 de la FAO, un outil d'aide à l'irrigation développé par la FAO et disponible sur son site web<sup>1</sup>. Consigne en [Annexe 6](#).

#### **Besoin pour l'alimentation en eau potable**

L'alimentation en eau potable du Village de Saalé est assurée par l'ONEA.

#### **Besoin en eau agricole**

Dans le cadre de cette étude plusieurs hypothèses ont servi de base pour la sélection des variétés de cultures ou spéculatation a valeurs ajoutées intéressantes. Les possibilités d'irrigation suivantes sont retenues en hypothèse :

- Irrigation du Riz pluvial (Irrigation d'appoint
- La culture Maraichère en saison sèche (la Tomate, le chou et l'oignon)

---

<sup>1</sup> [www.fao.org](http://www.fao.org)

## II.2.7 CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE

### II.2.7.1 LA DIGUE

#### ☞ Calage de la digue

La hauteur de la digue est égale à la hauteur normale de la retenue des eaux, majorée de la charge maximale au-dessus du déversoir et de la revanche elle se détermine à partir de l'équation ci-dessous

$H_B = H_r + h + R$	$H_r$ =hauteur de la retenue (m) $h$ = la charge au-dessus du déversoir (m) $R$ = revanche (m)
---------------------	--

#### ☞ Détermination de la revanche sur le déversoir

La revanche est la différence de côte entre la côte des Plus Hautes Eaux (PHE) et la crête de la digue et a pour rôle de prévenir le débordement des eaux du réservoir au-dessus de la crête du barrage et leur déferlement sur la pente aval.

Nous utiliserons les formules de Mallet et Pacquant, celle de Gaillard et aussi les formules empiriques.

Mallet et Pacquant	$R = A * \left( h + \frac{V^2}{2 * g} \right)$	H= hauteur des vagues (m) A= coefficient de sécurité V= vitesse de propagation des vagues (m/s) f= fetch (km)
Gaillard	$R = 0.75 * h + \frac{V^2}{2 * g}$	
Autres Formules	$R = 1 + 0,3 * \sqrt{f}$	

Les chercheurs du comité des Grands Barrages proposent des recommandations sur l'estimation de la revanche en fonction du volume de la retenue et la hauteur de la digue (H) pour les petits barrages. Les valeurs proposées sont consignées dans le tableau 2.

*Tableau 8 : Tableau 22 : Estimation de la revanche par l'approche simplifiée*

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

La revanche retenue est obtenue en faisant la moyenne des deux approches

### ☞ Largeur en crête

La largeur en crête est dimensionnée afin de faciliter la circulation des engins. Des formules empiriques permettent de déterminer cette largeur, dans la pratique la largeur en crête  $L_c$  est supérieur à trois (03) mètre.

KNAPPEN	$l_c = 1,65 * \sqrt{H_B}$	$l_c =$ largeur en crête (m)
PREECE	$l_c = 1,1 * \sqrt{H_B} + 1$	
Autres formules	$l_c = 3,6 * \sqrt[3]{H_B} - 3$	$H_B =$ Hauteur de digue (m)

### ☞ Largeur en base

$l_f = l_c + \frac{H_d}{\tan\alpha_1} + \frac{H_d}{\tan\alpha_2}$	$l_c$ : largeur en crête du barrage (m) $H_d$ : hauteur digue (m) $\alpha_1$ et $\alpha_2$ Les angles d'inclinaisons des talus
---	--

### ☞ Infiltration à travers la digue

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

$$y^2 - y_0^2 - 2 * xy_0 = 0$$

Avec :  $y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$

Pour déterminer ces infiltrations nous allons aussi déterminer le débit de fuite noté  $q$

$$q = k_r * y_0$$

Avec :

$y_0$  =Points d'intersection de l'axe des ordonnées avec la parabole de KOZENY

$k_r$  =Perméabilité du remblai

$q$  = Débit de fuite par mètre linéaire

### ☞ La parabole de Kozény : C ( A ; C ; M)

$M(0; y_0)$ avec $Y_0 = \sqrt{(h^2 + d^2)} - d$	$Y_0$ : Point d'intersection de l'axe des ordonnées et de la parabole de Kozeny $h$ : tirant d'eau à l'amont (m) $d$ : largeur en base du barrage diminuée de $b$
--	---

A (d ; Hr )

B (d;  $l_f - b$ )

Ligne phréatique : C ( B ; D)

La figure ci-après présente les différentes caractéristiques de la digue.

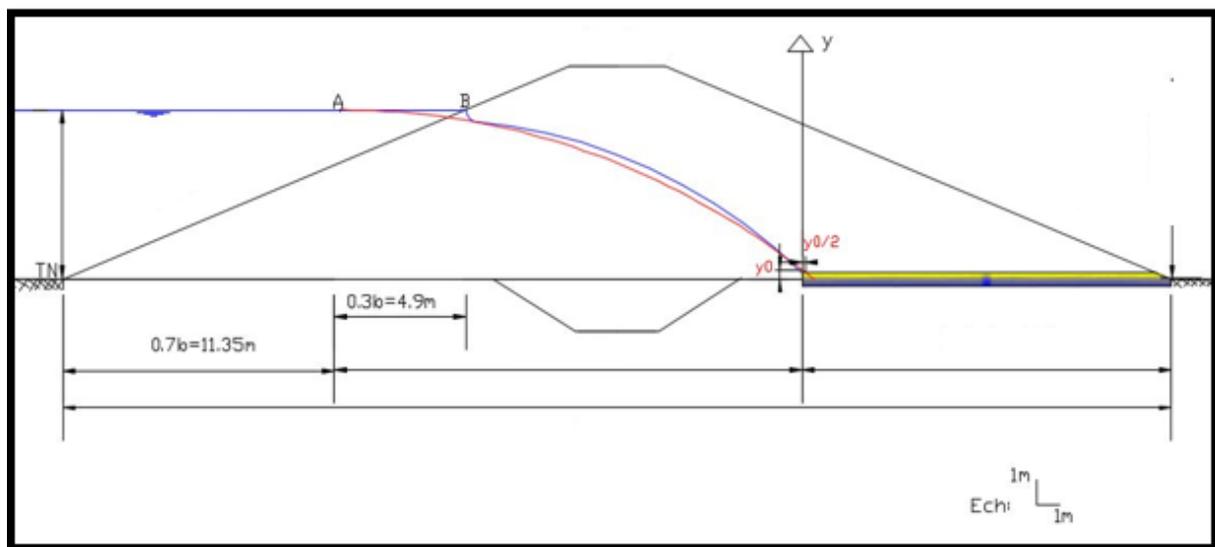


Figure 4 : Paramètres de la digue

### II.2.7.1.1 STABILITE DES TALUS DE LA DIGUE

La stabilité d'un barrage en terre est celle de la stabilité de son talus amont et de son talus aval sur sa fondation (Compaoré, 1996). L'étude de stabilité sera conduite par le cercle de glissement de BISHOP. Nous avons utilisé le logiciel Géoslope afin de vérifier la stabilité des pentes. Nous ferons la vérification dans le cas le plus défavorable c'est-à-dire lorsque la retenue est pleine.

### II.2.7.2 EVACUATEUR DE CRUE

Un évacuateur de crue est un organe de sécurité qui permet d'éviter le débordement non contrôlé d'une retenue et protège le barrage et les ouvrages annexes contre un déversement qui pourrait entraîner des dégâts dus à l'érosion et aux instabilités. Il est donc nécessaire pour que

l'ouvrage ne subisse pas de dommages. Un évacuateur de crue est constitué de deux parties principales :

- Un organe de contrôle du débit : le déversoir ;
- Un dissipateur d'énergie installée au pied du coursier.

☞ **Le débit de projet :**

$Q_{\text{projet}} = m * L * \sqrt{2g} * h^{3/2}$	m : coefficient de débit de l'évacuateur (0,48)
	L : longueur du déversoir (m)
	g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s <sup>2</sup> )
	h : hauteur du déversoir

☞ **La longueur du seuil déversant**

La longueur du seuil déversant est donnée par la formule du débit :

$L = Q_{\text{projet}} / (m * \sqrt{2g} * h^{3/2})$	m : coefficient de débit de l'évacuateur (0,48)
	L : longueur du déversoir (m)
	g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s <sup>2</sup> )
	h : hauteur du déversoir

### II.2.7.2.1 STABILITE DU DEVERSOIR

➤ **Vérification à la stabilité externe**

La vérification de la stabilité externe passe par la vérification de la stabilité au non glissement et de la stabilité au non renversement.

**Vérification de la stabilité au non glissement**

La vérification de la stabilité au non glissement passe par la vérification de l'inéquation suivante :  $(W - U) \times \tan\varphi - (P_{e \text{ amont}} - P_{e \text{ aval}} + P_t) \geq 0$

Pour la vérification du non glissement, il faut que  $\alpha \geq \tan^{-1} \left( \frac{(P_{e \text{ amont}} - P_{e \text{ aval}} + P_t)}{\tan\varphi * \left( \frac{H}{2} * (H * \gamma_b + H * \gamma_w - \gamma_w * h) \right)} \right)$

Le tableau 3 résume la méthode de calculs adoptée pour la vérification de la stabilité externe du déversoir, et les forces en présence sont matérialisées par les figures 3 et 4.

Tableau 9: Paramètres pour la vérification de la stabilité externe du déversoir

Poussée hydrostatique externe amont ( $P_{e\text{ amont}}$ )	$P_{e\text{ amont}} = \frac{1}{2}\gamma_w * H^2 + \gamma_w * H * h$	
Poussée hydrostatique externe aval ( $P_{e\text{ aval}}$ )	$P_{e\text{ aval}} = \frac{1}{2}\gamma_w * h^2$	$\gamma_w$ : Poids volumique de l'eau = 10 KN/ m <sup>3</sup>
Poussée des terres ( $P_t$ )	$P_t = \frac{1}{2}\gamma_{\text{sédiment}} * H^2_{\text{sédiment}} * K_a$	$\gamma_{\text{sédiment}}$ : Poids volumique des sédiments = 18 KN/ m <sup>3</sup>
Le poids propre(W)	$W = \gamma_b * \left( a * H + \frac{1}{2} * H^2 * \tan\alpha \right)$	$\gamma_b$ : Poids volumique du béton = 25 KN/ m <sup>3</sup>
La poussée hydrostatique interne(U)	$U = \frac{1}{2} * \gamma_w * (H + h) * (a + H * \tan\alpha)$	a : crête du déversoir H : hauteur du déversoir
Moment induit par le poids de l'ouvrage $m_{j/B}$ (W)	$m_{j/B} (W) = \frac{\gamma_b}{2} (2 * a * H^2 * \tan\alpha + \frac{2}{3} * H^3 * \tan^2\alpha + a^2 * H)$	h : hauteur de la lame d'eau sur le déversoir
Moment induit par la pression interstitielle $m_{j/B}$ (U)	$m_{j/B} (U) = \frac{1}{3} * \gamma_w [\tan^2\alpha (H^3 + H^2 * h) + \tan\alpha(2H^2 * a + 2 * H * h) + a^2 * H + a^2 * h]$	$h_{\text{sédiment}}$ : hauteur des sédiments
Moment induit par la poussée de l'eau amont $m_{j/B}$ ( $P_{e\text{ amont}}$ )	$m_{j/B} (P_{e\text{ amont}}) = \left( \frac{1}{2}\gamma_w * H^2 + \gamma_w * H * h \right) * \frac{1}{3} (H + h)$	

Moment induit par la poussée de l'eau aval

$m_{j/B} (P_{e\text{ aval}})$

$$m_{j/B} (P_{e\text{ aval}}) = \left(\frac{1}{2}\gamma_w * h^2\right) * \frac{1}{3} * h$$

Moment induit par la poussée des terres  $m_{j/B} (P_t)$

$$m_{j/B} (P_t) = \frac{1}{2}\gamma_{\text{sédiment}} * h^2_{\text{sédiment}} * K_a \times \frac{1}{3}h_{\text{sédiment}}$$

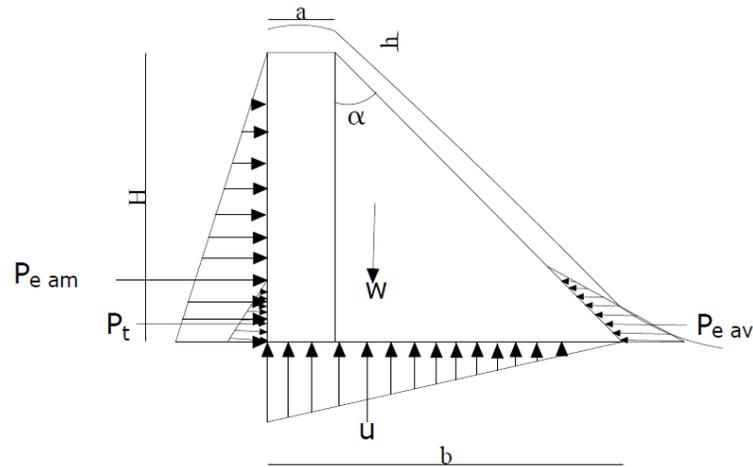


Figure 5: Stabilité externe

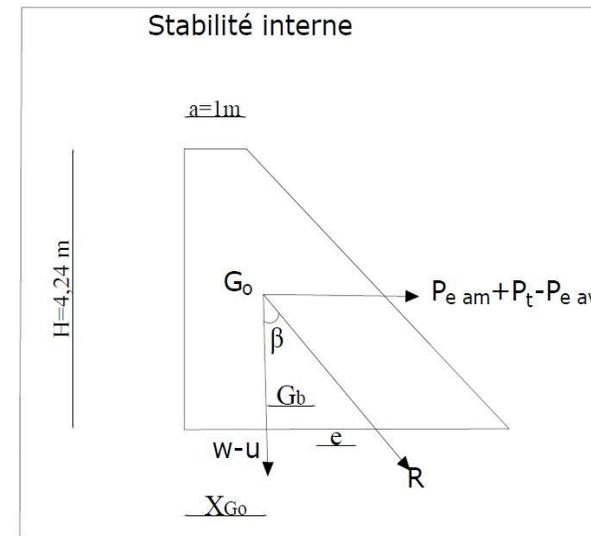


Figure 6: Stabilité interne

## Vérification de la stabilité au non renversement

La vérification de la stabilité au non renversement passe par la vérification de l'inéquation suivante :  $\eta_{\text{Forces résistante}} (W - U) - \eta_{\text{Forces de poussée}} (P_{e \text{ amont}} + P_{e \text{ aval}} + P_t) \geq 0$

### ➤ Vérification de la stabilité interne

La vérification de la stabilité interne passe par la vérification de la règle du tiers central et de la stabilité à la rupture

**Règle du tiers central**  $-\frac{b}{6} \leq e \leq \frac{b}{6}$

Excentricité e 
$$e = (X_{\text{Gouv}} + X) - \frac{(a + H * \tan\alpha)}{2}$$

$X_{\text{Gouv}}$ : centre de gravité de l'ouvrage  
 $a$  : crête du déversoir  
 $H$  : hauteur du déversoir

### Vérification de la stabilité à la rupture $\delta_{\text{max}} \leq \delta_{\text{lim}}$

Pour que le déversoir soit stable à la rupture, il faut que la contrainte maximale admissible soit inférieure à la contrainte limite du béton.

**Contrainte maximale admissible** 
$$\delta_{\text{max}} = \left(\frac{W - U}{b}\right) \left(1 + \frac{6e}{b}\right)$$

$e$  : excentricité

$W$  : poids du déversoir

$\delta_{\text{max}}$

$b$  : largeur en base du déversoir

**Contrainte limite**

$$\delta_{\text{lim}} = 0,3f_{c28}$$

$f_{c28}$  : force de compression du béton  
 = 30 MPa

$\delta_{\text{lim}}$

**Poids linéaire du déversoir**  $W = \gamma_b * S$

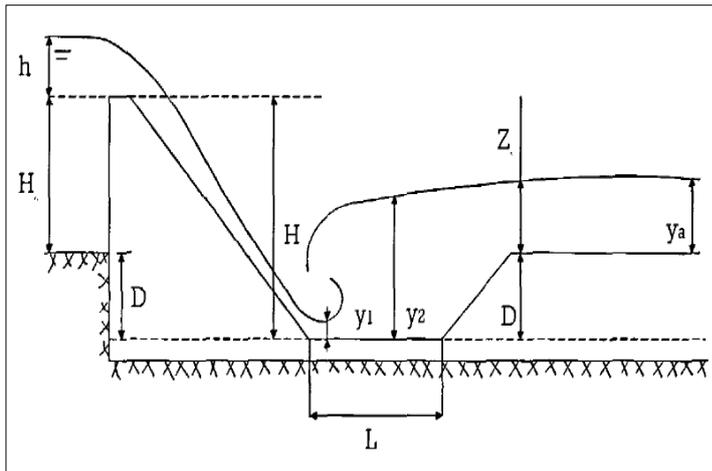
$\gamma_b$  : poids volumique du béton

$S$  : section du déversoir

### II.2.7.3 BASSIN DE DISSIPATION A L'AVAL DE L'EVACUATEUR DE CRUE

Il est proposé à l'aval de l'évacuateur, un bassin de dissipation de largeur de 4.00m et de longueur égale à celle de déversoir.

Les paramètres pour le dimensionnement du bassin de dissipation sont donnés par la figure 5.



- Ho : la ligne d'eau
- h : la charge sur le seuil
- L : longueur du bassin
- D : enfoncement du bassin
- Y1 : Profondeur d'eau à l'entrée du bassin
- Y2 : hauteur d'eau à la sortie du bassin
- H : hauteur de l'eau au droit du déversoir

Figure 7: Caractéristiques du bassin de dissipation

Enfoncement du bassin D lu sur abaque, à partir du tirant d'eau normal, dépend de la charge sur le seuil et de la hauteur d'eau au droit du déversoir.

A partir des différents paramètres, les caractéristiques du bassin de dissipation peuvent être exprimées par les relations ci-dessous :

#### Profondeur d'eau à l'entrée du bassin $y_1$ et la vitesse d'entrée $v_1$

$y_1 = \frac{q}{\sqrt{2 * g(z - y_1)}}$	q : le débit unitaire  Z : la hauteur de chute
$v_1 = \frac{q}{y_1}$	$y_1$ est obtenu par itération

#### Le nombre de Froude

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

$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g * y_1}}$	$v_1$ : Vitesse de l'eau à l'entrée du bassin $y_1$ : Profondeur d'eau à l'entrée du bassin
-----------------------------------	--

### La hauteur d'eau à la sortie du bassin

$$y_2 = y_1 * \left[ \left( \sqrt{8 * Fr^2 + 1} \right) - 1 \right] / 2$$

$y_1$  : Profondeur d'eau à l'entrée du bassin

$Fr$  : le nombre de Froude

Par lecture sur graphique, nous obtenons la longueur du bassin de dissipation  $L$ , la hauteur des blocs chicanes  $h_2$  et du seuil terminal  $h_4$ .

### III. RESULTATS

#### Fiche synoptique du barrage de Saalé

Le tableau ci-dessous présente la fiche technique du barrage de Saalé.

Tableau 10: Fiche technique du barrage de Saalé

Caractéristiques	
<b>I. Localisation</b>	
Région/Province/Département	Centre /Kadiogo/ Pabre
Localité	Saalé
Accès au site	A une vingtaine de Km de Pabré
Coordonnées	X= 642987,03 et Y= 1388666,23 m
<b>II. Bassin Versant</b>	
Superficie	16,27 km <sup>2</sup>
Périmètre	29,92 km
Débit de crue du projet	92,3 m <sup>3</sup>
Apports liquide en année quinquennale sèche	1 720 438 m <sup>3</sup>
Apports liquide en année moyenne	1 016 470 m <sup>3</sup>
<b>III. Retenue</b>	
Cote PEN	314,00 m
Capacité Normale	680 506 m <sup>3</sup>
<b>IV. Digue</b>	
Type	Argile Homogène
Côte	315,25 m
Hauteur maximale	4,9 m
Largeur en crête	3,50 m
Pente talus amont	1V /2 H
Pente talus aval	1V /2 H
Longueur totale	1395m
Protection talus amont	2/1 (perré sec)
Protection talus aval	2/1 (perré sec)
<b>V. Evacuateur de crue</b>	
Type	Déversoir Poids trapézoïdale r
Côte de calage	314,00m
Hauteur maximale	3,65 m
Longueur	75 m
Revanche	1 m

Rampes	Béton cyclopéen
<b>VI. Bassin de dissipation</b>	
Type Bassin de dissipation	USBR II
Longueur bassin	75 m
Largeur	4,00m
Cote	310
<b>VII. Chenal d'évacuation</b>	
Nature	En terre
Longueur	80
Largeur	95
<b>VIII. Ouvrage de prise</b>	
Nature	Fonte
Diamètre	300
Longueur	20,80
Cote de calage	312,00
<b>IX. Diguettes de Protection</b>	
Largeur en crête	3,00
Constitution	Argileux
Longueur	2*80,00m
Cote de calage	311,85
<b>X. Coût total des travaux</b>	<b>310 552 658 FCFA</b>

### III.1 ETUDES PLUVIOMETRIQUES

#### III.1.1 Justification du choix de la période de retour

Comme analysé précédemment dans le volet méthodologie, la crue centennale est retenue pour la suite des calculs du fait de la vétusté de l'ouvrage ainsi que pour une réduction des coûts. En effet ce choix est beaucoup plus économique et utilisé habituellement dans ce type d'étude de barrage.

#### III.1.2 Analyse de la pluviométrie de la zone d'étude

Avec des séries pluviométriques dépassant les 30 unités (valeur minimum pour l'analyse de données pluviométriques), le logiciel Hyfran a servi à ressortir les quantiles journaliers et annuels durant les périodes sèche et humide. Leurs courbes d'ajustement se présentent comme suit :

Figure 8 : Analyse statistique des données pluviométriques annuelle de PABRE

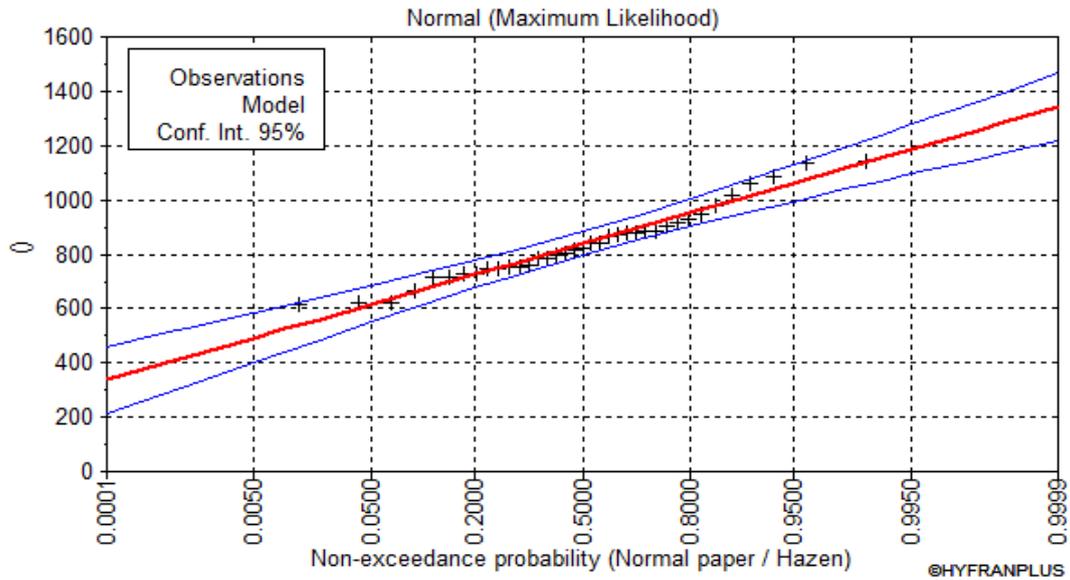
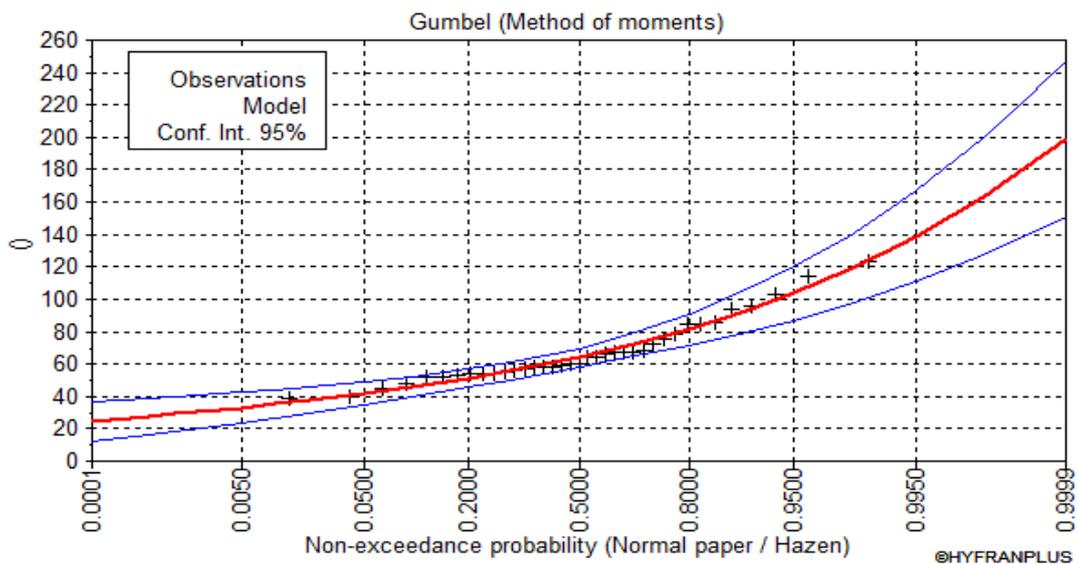


Figure 9 : Analyse des données pluviométrique journalière de PABRE



## III.2 RESULTATS DES ETUDES HYDROLOGIQUES

### III.2.1 Paramètres du bassin versant

Le logiciel arc gis fournit les valeurs de la superficie et du périmètre du bassin versant de Saalé qui sont respectivement de  $16,26 \text{ Km}^2$  et  $20,92 \text{ Km}$ .

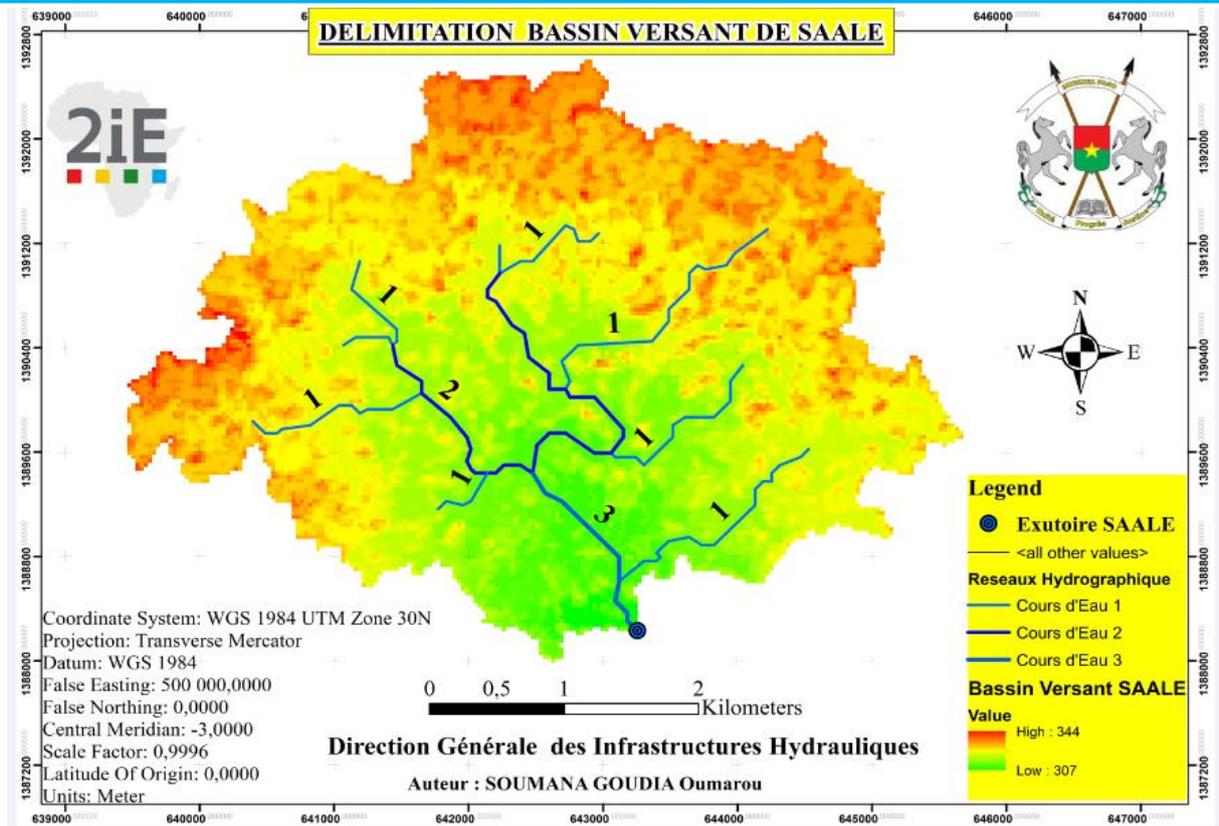


Figure 10 : Caractéristiques Bassin versant

### III.2.2 Détermination de Kr10

Tableau 11 : Détermination de Kr10

Méthode	ORSTOM de détermination de KR10	PUCH et CHABI-GONNI en 1983
Kr10	<b>20,32</b>	<b>41,88</b>
Kr10 Retenu	<b>41,88</b>	

Compte tenu des effets du changement climatique ou les crues semble de plus en plus violentes on adoptera la plus grande valeur.

### III.2.3 Détermination du débit

Tableau 12 : calcul de crue décennale par la méthode de RODIER

S(Km <sup>2</sup> )	Pan(mm)	P10(mm)	m	$\alpha_{10}$	$K_{r10}$	T ans	Tb(h)	A	$Q_{10}$
16,26	709	108,05	1,030	2,6	0,414	10	15,06	1	<b>30,55</b>

Tableau 13 : Calcul de crue décennale par la méthode de régression linéaires du CIEH

Paramètres	Valeur	$Q_{10}$ Pour les différentes équations		
		N°39	N°40	Valeur Retenue
S(Km2)	16,26			
Ig	3,58	40,62	38,82	<b>39,6</b>
$K_{r10}$	41,88			

**Tableau 14 : Choix de la Crue décennal**

	ORSTOM	CIEH	Crue Adoptée
$Q_{10}$ (m <sup>3</sup> /s)	<b>30,55</b>	<b>39,6</b>	<b>39,6</b>

*Tableau 15 : Résultat Calcul de Crue*

$P_{10}$ (mm)	$P_{100}$ (mm)	Tb(h)	$Kr_{10}$	$Q_{10}$ (m <sup>3</sup> /s)	C	$Q_{100}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{100}$ Retenu (m <sup>3</sup> /s)
108.05	<b>171,66</b>	<b>15,06</b>	<b>0,4188</b>	<b>39,6</b>	<b>2,3</b>	<b>92,3</b>	<b>95</b>

### III.2.4 Calcul de l'Hydrogramme de crue

*Tableau 16 : Paramètres pour le tracé de l'hydrogramme de crue*

X Temps (min)	Y Débit (m3/s)
0	0
306,63	95,05
526,63	26,98
904,04	0

Le tracé de l'hydrogramme de crue est donné ci-dessous (cf. graphique)

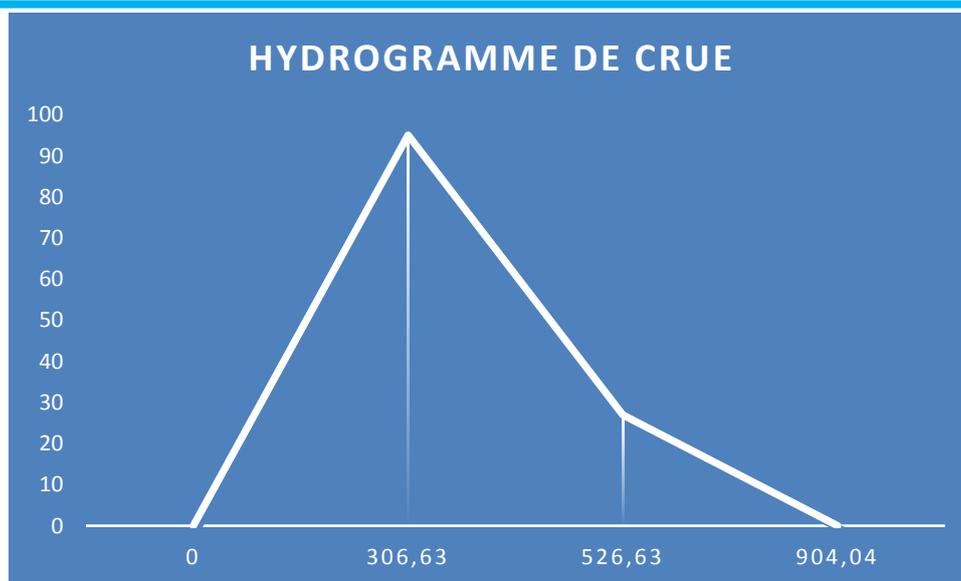


Figure 11 : Hydrogramme de Crue

### III.3 ETUDES DES APPORTS

Nous sommes en d'un bassin versant de type de classe 2 ( $2 < S < 40 \text{ km}^2$ ) en Zone sahélienne, sol argile-limoneux et Dénivelée spécifique (Ds) donnant une faible Pente. On peut l'assimilé à l'un de bassin versant étudiés (Cf ; Bulletin 54 de la FAO : crues et apports, page 126-127).

Tableau 17 : Détermination du coefficient d'écoulement Bulletin Fao

Année	Ke (%)
Moyenne	<b>8,49</b>
Décennale Humide	<b>16,48</b>
Décennale Sèche	<b>4,36</b>

Tableau 18 : Calculs des apports d'eau sur le Bassin versan

Année	Ke (%)	S (km <sup>2</sup> )	P (mm)	Apport (m <sup>3</sup> )
Moyenne	<b>8,49</b>	<b>16,26</b>	<b>709</b>	<b>978740</b>
Décennale Humide	<b>16,48</b>	<b>16,26</b>	<b>890,90</b>	<b>2387305</b>
Décennale Sèche	<b>4,36</b>	<b>16,26</b>	<b>526,67</b>	<b>373374</b>

Résulta études des apports méthode Coutagne

**Tableau 19 : Détermination des apports Méthode Coutagne**

Année	Ke (%)	S (km <sup>2</sup> )	P (mm)	Apport (m <sup>3</sup> )
Moyenne	<b>14,9</b>	<b>16,26</b>	<b>709</b>	<b>1720438</b>
Quinquennale Sèche	<b>10,45</b>	<b>16,26</b>	<b>890,90</b>	<b>1016470</b>
Décennale Sèche	<b>07,46</b>	<b>16,26</b>	<b>526,67</b>	<b>639192</b>

### III.4 LES DEPOT SOLIDES

Le volume annuel des dépôts solides est obtenu par la relation  $V \text{ (m}^3\text{/an)} = D * S$

**Tableau 20: : Estimation du volume des sédiments**

GRESILLON		GOTTSCHALK		V <sub>moyen</sub> m <sup>3</sup> /an
D <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /an)	V <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /an)	D <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /an)	V <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /an)	
245,80	3996,76	196,93	3198,76	<b>3597,76</b>

En moyenne nous avons un volume de charriage de **3598 m<sup>3</sup>/ans**.

Sur environ **30 ans**, la durée de vie probable de l'ouvrage, on enregistrera **108000 m<sup>3</sup>** de dépôt solides. Cela correspondra environ à la cote **313,00** soit un volume de **124 861,00 m<sup>3</sup>** qui ne serait pas exploitable. la prise devra être au-dessus de cette cote.

**Tableau 21: : Estimation du volume des sédiments par la Formule de KARAMBIRI**

Apports solides (Formule de KARAMBIRI)							
S (km <sup>2</sup> )	P (mm)	h	r	D (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /an)	Vs (m <sup>3</sup> /an)	V retenue (m <sup>3</sup> )	n (ans)
16,26	790	0,55	0,55	147,99	2406,274	72188.1	30

### III.5 LES PERTES PAR EVAPORATION ET PAR INFILTRATION

#### ☞ Pertes par Evaporation

Tableau 21 : Pertes par évaporation selon POUYAUD

Pertes par évaporation selon POUYAUD												
Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc
Nbre jours	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Evap Bac A (mm)	260,8	279,6	340,9	327,7	313,9	253,6	206,9	170,9	171,2	218,9	236,4	244,6
Evap Bac (mm/j)	6,00	6,51	7,05	7,02	6,70	6,02	5,22	4,65	4,75	5,40	5,77	5,77
Evap retenue (mm)	185,9	188,7	218,4	210,5	207,85	180,4	161,7	144,1	142,4	167,3	172,9	178,8
<b>TOTAL</b>	<b>2159,53</b>											

Les pertes par évaporation sont de l'ordre de **2159,33 m/an**.

L'évaluation du volume perdu par évaporation dans la retenue se fait en considérant une surface théorique située à  $1/3$  de la hauteur normale de la retenue  $1/3 (314,75-310,50) = 1,42m$ .

Soit une surface a la cote de **311,94m**. On estime la surface du plan sur la courbe hauteur surface a cette cote a **69 561m<sup>2</sup>**. Le volume évaporé est donc de l'ordre de **69561 \*2,159 = 150 182,199m<sup>3</sup>**.

$$\underline{V_e = 150\ 183\ m^3/ans}$$

#### ☞ Pertes par infiltration

Tableau 22 : Calcul d'Infiltration

Perte par infiltration												
Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juin	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc
Nbre jours	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Infiltration/j	93	87	93	90	93	-	-	-	-	93	90	93
<b>TOTAL</b>	<b>639</b>											

Les pertes par Infiltration en termes volumiques sont estimées pour la période et la saison sèche et pour une surface théorique équivalente a la surface du plan d'eau correspondant au quart de de la hauteur du déversoir. Soit  $1/4H = 1/4 (314,75-310,50) = 1,06$

La cote du plan d'eau correspondant est égale **310,50+1,06=311,56m**, la superficie du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau **311,15m** est estime à environ **43 933 m<sup>2</sup>**

Le volume d'infiltration se calcule alors de la manière suivante :

$$V_i = S \cdot I \cdot N$$

Avec **S** : Surface du plan d'eau à la hauteur  $\frac{1}{4}$  H

**I** : Infiltration par jours

**N** : Nombre de jours non pluvieux ; on pourra alors au plus 08mois soit 240jours de saison sèche.

$$V_i = 43933 \cdot 3,10^{-3} \cdot 240 = 31\ 631,76 \text{ m}^3/\text{ans}$$

$$V_i = 31\ 632 \text{ m}^3/\text{ans}$$

*Tableau 23 : Récapitulatifs des Pertes dans la cuvette*

Volume Pertes par Evaporation m <sup>3</sup>	Volume Pertes par Infiltration m <sup>3</sup>	Volumes Pertes du aux dépôts solides m <sup>3</sup>
150 183	31 632	124 861

### III.6 LES BESOINS EN EAU DE LA CULTURE

Les besoins en eau exprimés à partir de deux spéculations suivant le calendrier suivant :

*Tableau 24 : Besoin en Eaux Agricoles*

Mois	Nombre de jours	Besoins en eau des cultures m3/ha	
		Riziculture	Maraichage
<b>Janvier</b>	31	0	3882
<b>Février</b>	29	0	3647
<b>Mars</b>	31	0	3790
<b>Avril</b>	30	0	
<b>Mai</b>	31	0	
<b>Juin</b>	30	1500	0
<b>Juillet</b>	31	2580	0
<b>Aout</b>	31	1960	0
<b>Septembre</b>	30	3130	
<b>Octobre</b>	31	0	
<b>Novembre</b>	30	0	2365
<b>Décembre</b>	31	0	2881
Total		<b>9170</b>	<b>16565</b>
Total Général		<b>25735</b>	

Tableau 25 : récapitulatif des besoins en eau et pertes

Désignation	Valeurs
<b>Besoins en Eau des cultures</b>	<b>25 735</b>
<b>Pertes Infiltration</b>	<b>31 632</b>
<b>Pertes Evaporation</b>	<b>150 183</b>
<b>Pertes dépôt solides</b>	<b>124 861</b>
<b>Volume minimal Théorique du barrage</b>	<b>332 441</b>

### III.7 ETUDE DE LA CUVETTE

A l'issue de l'étude topographique, nous avons pu dégager les graphiques des volumes et surface en fonction de la hauteur.

Tableau 26: Répartition de la surface et du volume en fonction des tranches de côtes

N°	Cote	Superficie Cumulée (m <sup>2</sup> )	Superficie Cumulée (ha)	Tranche s d'Eau (m)	Superficie Moyenne (ha)	Superficie Moyenne (m <sup>2</sup> )	Volum e Partiel (m <sup>3</sup> )	Volume cumulé (m <sup>3</sup> )
1	310,00	0	0,0000	0	0	0	0,00	0
2	310,50	407,99	0,0408	0,5	0,0203995	203,995	102,00	102,00
3	310,75	9368,18	0,9368	0,25	0,4888085	4888,085	1222,02	1324,00
4	311,00	19119,36	1,9119	0,25	1,424377	14243,77	3560,94	4885,00
5	311,25	34298,65	3,4299	0,25	2,6709005	26709,005	6677,25	11562,00
6	311,50	53569,15	5,3569	0,25	4,39339	43933,9	10983,48	22562,00
7	311,75	85553,25	8,5553	0,25	6,95612	69561,2	17390,30	39936,00
8	312,00	119748,12	11,9748	0,25	10,2650685	102650,685	25662,67	65599,00
9	312,25	154627,47	15,4627	0,25	13,7187795	137187,795	34296,95	99896,00
10	312,50	193670,91	19,3671	0,25	17,414919	174149,19	43537,30	143433,00
11	312,75	252378,96	25,2379	0,25	22,3024935	223024,935	55756,23	199189,00
12	313,00	300459,3	30,0459	0,25	27,641913	276419,13	69104,78	268294,00
13	313,25	354091,75	35,4092	0,25	32,7275525	327275,525	81818,88	350113,00
14	313,50	408057,06	40,8057	0,25	38,1074405	381074,405	95268,60	445381,00
15	313,75	469924,32	46,9924	0,25	43,899069	438990,69	109747,67	555129,00
16	314,00	533090,1	53,3090	0,25	50,150721	501507,21	125376,80	680506,00
17	314,25	590277,04	59,0277	0,25	56,168357	561683,57	140420,89	820927,00
18	314,50	662013,03	66,2013	0,25	62,6145035	626145,035	156536,26	977463,00
19	314,75	729167,37	72,9167	0,25	69,55902	695590,2	173897,55	1151361,00
20	315,00	790106,72	79,0107	0,25	75,9637045	759637,045	189909,26	1341270,00

Nous avons pu avoir une estimation du volume de la retenue. A la côte du déversoir, nous avons un volume de **1151361,0m<sup>3</sup>**.

Les termes de références exigent déjà une capacité minimale de **500 000 m<sup>3</sup>** que le calage de la retenue devra en tenir compte.

Toutefois aux regards des pertes et les besoins en eau, il faudra une capacité minimale supérieur ou égale à **332 441 m<sup>3</sup>**. En considérant les besoins en eau par hectare, on peut par simulation, évaluer la superficie irrigable en fonction de la capacité maximale qu'offre la cuvette.

### *☞ Calage et simulation de la retenue*

#### *Calage du plan d'eau de la retenue*

Le déversoir sera calé en tenant compte de toutes les considérations énumérées ci-dessus mais aussi en veillant à laisser une marge suffisante pour le calage de la digue. Cette marge correspond à la revanche et a la charge admissible. C'est ainsi que la cote **314 m** a été retenue pour le calage de la crête du déversoir. Cette cote correspond à un volume de stockage de **680 506 m<sup>3</sup>** et une superficie de plan d'eau normal (PEN) de **50,1507 ha**. Les apports moyens et décennaux humides permettront le remplissage de la retenue.

Cependant il n'y a pas de remplissage en année décennale sèche.

#### *Simulation de la retenue*

Les apports mensuels en années moyennes ont été évalués. Il n'a été retenue que les pluies d'avril à octobre qui sont considérés comme de pluies efficaces. Le tableau ci-dessous présente la simulation pratique du plan d'eau pour l'irrigation avec les différents usages.

Après plusieurs simulations, nous constatons que la retenue n'est pas remplie en fin de période de de la campagne humide qu'avec moins de **10 ha**. Avec **5 ha**, la cote en fin de période sera est de **313.85 m** pendant qu'avec moins de 4 ha, elle est de **313,79m**.

Par ailleurs le niveau baisse en dessous de la cote envasement obtenu pour **30ans** de durée de vie. On retiendra finalement une cote d'envasement de **312,00 m**.

Cette cote **312,00** est retenue pour le calage de prise. Les cotes en dessous de **312,00 m** sont atteintes a des périodes de non irrigation.

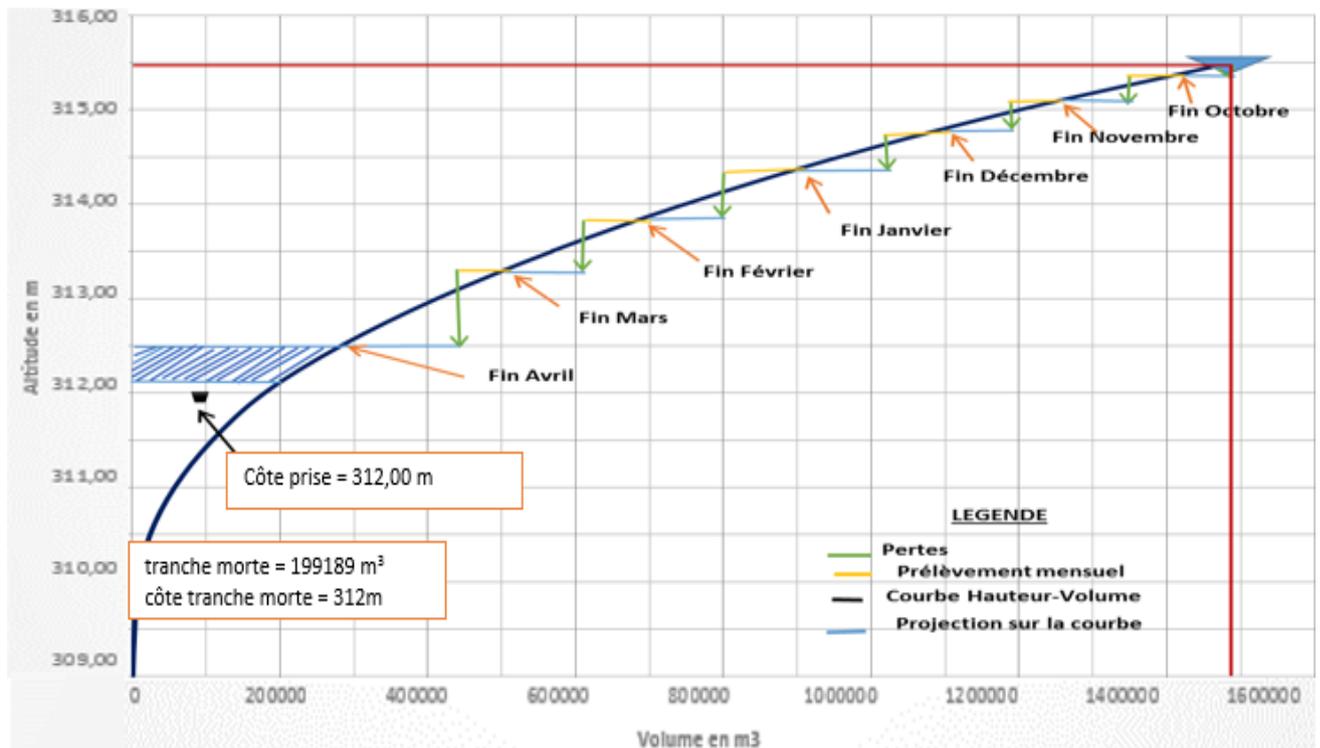
Un aménagement futur pour ce périmètre ne devrait pas dépasser **10,00ha** (pour une Irrigation hivernale d'appoint et contre saison). Même avec les 10ha il faudra qu'on espère compter sur des années de bonne pluviométrie pour qu'à la fin de l'irrigation en septembre, le niveau soit à la maximale (**314 m**).

La côte du PEN a été calée à 314,00 m. le tableau présente les caractéristiques de la retenue :

Tableau 27 : caractéristiques de la retenue

<b>Côte PEN</b>	<b>314,00</b>	<b>m</b>
<b>Capacité de stockage de la cuvette</b>	107 728 300,12	m <sup>3</sup>
<b>Superficie du Plan d'Eau Normal PEN</b>	215 456 600,24	m <sup>2</sup>
<b>Côte Plan des Hautes Eaux PHE</b>	285,5	m
<b>Volume au PHE</b>	197 274 614,66	m <sup>3</sup>
<b>Superficie du plan des hautes eaux</b>	394 549 229,33	m <sup>2</sup>
<b>Apports moyens annuels</b>	387 342 891	m <sup>3</sup>

Figure 12 : Simulation de la retenue



### III.8 CHOIX DU TYPE DU BARRAGE ET D'EVACUATEUR DE CRUES

#### Type de barrage.

La topographie d'un site, la disponibilité du matériau, le critère hydraulique, la facilité de mise en œuvre et d'entretien ainsi que l'enveloppe financière.

Le barrage projeté pour le site de SAALE sera constitué des principaux composants suivants :

- Une digue en terre compactée avec tranchée d'ancrage et d'étanchéité en terre compacte servant de la fondation de la digue.
- Un évacuateur de crue
- Un ouvrage de prise et de vidange
- Une échelle limnométrique
- Deux diguettes de protection en terre compactée

#### ➤ Dimensionnement de la digue

Le dimensionnement de la digue consiste à déterminer ses caractéristiques géométriques permettant l'évaluation de son volume et de sa hauteur, la largeur en crête et les pentes des talus amont et aval.

La situation de l'axe du barrage est déterminée à un endroit favorable à l'installation des ouvrages d'évacuation des crues, de telle sorte que les crues puissent être évacuées en toute sécurité dans le lit du cours d'eau à l'aval.

#### ☞ Type de composant de la digue

Les résultats des études géotechniques ont révélé la disponibilité de matériaux argileux non dispersive en grande quantité (au moins 100000m<sup>3</sup>). Ce matériau convient à la réalisation d'une digue en terre homogène suivants dont le compactage suivants les normes confère une meilleurs stabilité et étanchéité.

Cette digue en matériaux sera protégée en crête et sur les talus par des matériaux graveleux latéritiques et enrochement. Un dispositif de drainage par filtre est aussi préconisé dans les parties ou la charge d'eau l'exigeait.

Mallet et Pacquant	$R = 1,48$
Gaillard	$R = 0,99$
Autres Formules	$R = 1,2$

Nous retenons la Revanche à 1 m.

**Avec H=4.61m**

### Résultat

<b>KNAPPEN</b>	3,54m
<b>PREECE</b>	3,36m

**On adoptera 3.5 m. Cette largeur permet la circulation sur la crête des engins.**

La digue est calée à la cote maximale de 315,25 m. Elle sera munie en amont d'un muret parapet de 0,5m de hauteur et de 0,5m de profondeur. Ce calage tient compte de volume de stockage souhaité en l'occurrence du calage du plan d'eau de la retenue et des revanches et charges sur le déversoir. La dénivelle entre la cote de la digue et 315,25m et t celle du plan d'eau normal 314 m est de 1,25m.

#### ☞ Hauteur maximale de la digue

La cote la plus basse du terrain naturel de l'axe de la digue au droit du lit est de 310,35m. la hauteur de la digue est donc de 4,90m.

#### ☞ Pentés des talus de la digue

Elles dépendent de la qualité de des matériaux constituant la digue et aussi de l'ouvrage. Les pentes des talus sont fixées par les conditions de stabilités mécaniques du massif et de ses fondations. Avec une hauteur comprise entre 5 et 10 m nous retiendrons pour le barrage de SAALE une pente amont de 1V/2 H et pour les pentes avale 1V/2H conformément au tableau ci-dessous.

*Tableau 28 : Fruit indicatif des talus des barrages stables*

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

Source : (LO, 2016); cours de barrage, P161.

### La Vérification de la stabilité de la digue par Géoslope :

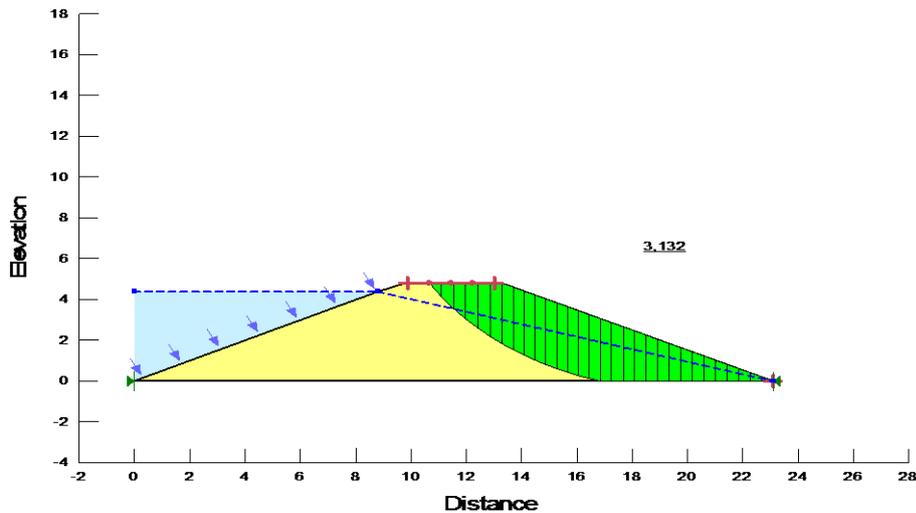


Figure 13 : Vérification la stabilité par Géoslope

Un facteur de sécurité d'environ **3,132** qui se trouve être supérieur à **1,5**, ce qui confirme la stabilité des pentes de talus.

#### ☞ Protection de la crête

La crête de la digue sera protégée par une couche des matériaux latéritiques de meilleure qualité avec les bonnes conditions de mise en œuvre. L'épaisseur de la couche sera 0,20 m. La pente transversale de la crête sera de 3% et orientée de l'aval vers l'amont.

Le long des deux rives de la crêtes de la digue sera munie de muret de crête de 0,5m de profondeur et 0,50 m de largeur en maçonnerie moellon. Toutefois, le muret parapet remplacera le muret de crête amont.

Par ailleurs, le muret pare-vague aura une hauteur de 0,5m, 0,5m de largeur et de profondeur 0,5 pour servir non seulement de protection de crête mais aussi de revanche supplémentaire et protéger davantage l'aval en cas de grande crue.

#### ☞ Protection Talus amont

Pour la protection talus amont contre le batillage des vagues, il sera prévu une couche de perré sec en moellon d'épaisseur 0,30 posé sur une couche en grave latéritique de 0,10 d'épaisseur.

Le Pied amont de la digue sera protégé par une butée de pied amont, ouvrage triangulaire en enrochement, 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 10m car ces zones sont de plus sensibles à l'action érosive des eaux.

### ☞ Protection talus aval

Le talus aval sera également protégé par une couche de perré sec constituée de d'engrochement latéritiques ou granitiques de 0,25 m d'épaisseur et reposant sur une couche de pose de grave latéritique d'épaisseur de 0,10m. Un fossé drain sera emménagé au pied du talus pour collecter les eaux pluviales et les eaux infiltrations en provenance du corps de la digue. Il sera revêtu en engrochement. C'est un ouvrage triangulaire comme la butée de 1,50 m de largeur en gueule et 0,50 m de profondeur.

### ➤ Le déversoir

La crue du projet sera celle utilisée pour le dimensionnement de l'évacuateur. L'effet de laminage est de plus en plus négligé pour tenir compte d'une grande marge de sécurité et ainsi contenir les effets de changement climatiques ou les crues dont de plus en plus violentes et instantanées.

La cote de calage du déversoir a été adoptée pour tenir compte des besoins, des contraintes naturelles, et des apports d'eau à la cote 314 m

La digue est calée à 315,25m, on dispose et le déversoir à la cote 314,00 m, avec une lame d'eau ou charge de 0,75m sur le déversoir, on déduit une revanche libre de 0,50m.

*Tableau 29 : Calcul de la longueur du déversoir du barrage de Saalé*

$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$m$	$G$ (m/s <sup>2</sup> )	$h$ (m)	Longueur Calculée (m)	Longueur Retenu (m)
95	0,4	9,81	0,50	127,71	130
95	0,4	9,81	0,75	69,52	75
95	0,4	9,81	1,00	45,15	50
95	0,4	9,81	1,50	24,58	30

### ☞ Description et caractéristique de l'Evacuateur

De même forme que celle de la digue mais calée à une cote de plus basse, il est constitué de talus amont, de crête (partie déversant), de talus aval et de rampe. Il est muni au pied aval d'un bassin de dissipation. Celui-ci est prolongé par des matelas de gabions de protections suivies

d'encrochement.

Afin de restituer les eaux directement dans le marigot, et éviter les érosions régressives qui peuvent déstabiliser le déversoir du barrage, l'aval du déversoir sera déblayé à la cote 310.35m pour placer le bassin de dissipation .la cote du terrain naturel du talus sera donc à 310.35m.

### ☞ Stabilité du déversoir

La Condition de non glissement est donnée par la formule suivante (LO, 2017):

$$F_{sécglis} = \frac{W - U}{P_e + P_t} \tan\phi \geq 1,2$$

Tableau 30 : Vérification de non glissement du déversoir

Poids propre $W$ (KN/m) = $\gamma_b \left[ \frac{H*(b-c)}{2} + (p + H) * c \right]$	468,75
Pression interstitielle $U$ (KN/m) = $\frac{\gamma_w(H+h)}{2} b$	83,25
Poussée de l'eau $P_e$ (KN/m) = $\frac{1}{2} \gamma_w (2h + H) H$	66
Poussée des terres $P_t$ = $\frac{1}{2} \gamma_t h^2 \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$	1,25
Tangente de l'Angle de frottement $\tan\phi$	0,65
Facteur de sécurité de non glissement $F_{sécglis}$	3,87

Les calculs effectués donnent un facteur de sécurité égal 3,87 supérieure à 1,2, donc la condition de non glissement est vérifiée.

La condition de non renversement est donnée par la condition suivante :

$$F_{sécrenv} = \frac{m_{w/B}(W - U)}{m_{U/B}(P_{eam} + P_t)} \geq 1,5$$

Tableau 31 : Vérification du non renversement du déversoir

Moment du Poids propre $m_{w/B}$ (KN.m/m) = $W * \left[ b - \frac{\frac{1}{6}H(b-c)(\frac{b}{3} + \frac{2c}{3}) + \frac{1}{2}(p+H)c^2}{\frac{1}{2}H(b-c) + (p+H)c} \right]$	1430,92
Moment de la Pression interstitielle $m_{U/B}$ (KN.m/m) = $\frac{2}{3} Ub$	249,75
Moment de la Poussée de l'eau $m_{P_e/B}$ (KN.m/m) = $\frac{1}{3} P_e (H + h)$	81,4
Moment de la poussée des terres $m_{P_t/B}$ (KN.m/m) = $\frac{1}{3} P_t h$	0,243
Facteur de sécurité au non renversement $F_{sécrenv}$	14,57

$F_{sécrenv} > 1,5$ , le facteur de sécurité du non renversement est vérifié.

La stabilité externe du déversoir est assurée car les conditions de non renversement et de non

glissement sont assurées.

✓ **Stabilité interne du déversoir**

La vérification de la stabilité interne passe par le respect des 2 conditions suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{règle du tiers central} \\ \frac{-b}{6} \leq e \leq \frac{b}{6} \end{array} \right. \quad \text{et } \sigma_{max} \leq \sigma_{lim}$$

Tableau 32 : Vérification de la stabilité interne

$x_{Gouv} = \frac{\frac{1}{6}H(b-c)\left(\frac{b}{3} + \frac{2c}{3}\right) + \frac{1}{2}Hc^2 + \frac{1}{2}pc^2}{\frac{1}{2}H(b-c) + pc + Hc}$	1,447
$y_{Gouv} = \frac{\frac{1}{2}c(H^2 - p^2) + \frac{1}{6}H^2(b-c)}{\frac{1}{2}H(b-c) + c(H-p)}$	1,727
$\tan\beta = \frac{P_{eam} + Pt}{W - U}$	0,168
$e (m) = x_{Gouv} + y_{Gouv}\tan\beta - \frac{b}{2}$	-0,512
$\frac{-b}{6} \leq e \leq \frac{b}{6}$	$-0,75 \leq -0,512 \leq 0,75$
Contrainte limite $\sigma_{lim}(MPa) = 0,3 \times f_{c28}$	6
Contrainte maximale $\sigma_{max}(MPa) = \frac{W-U}{b} \left(1 + \frac{6e}{b}\right)$	0,0271

En somme, la stabilité interne du barrage est assurée car les 2 conditions sont vérifiées.

Au vu de tout ce qui s'en est suivi, nous pouvons conclure que le déversoir est stable, donc nous sommes en mesure de confirmer ses paramètres géométriques actuels.

**III.9 DIMENSIONS DU BASSIN DE DISSIPATION**

Le nombre de Froude est un paramètre essentiel au choix du type de bassin. Dans le cadre de notre étude,  $Fr = 7,97 > 4,5$ , aussi la vitesse est inférieure à 15 m/s d'où le choix du bassin de type II.

Le calcul de l'enfoncement D est récapitulé dans le tableau suivant :

Tableau 33 : Détermination de l'enfoncement D du bassin de dissipation

$h/H0$	$Yn/H0$	$D/H0$	$D$
0,22	0,34	0,08	0,24

✓  $H_0$  : la hauteur de la digue et D : l'enfoncement

Sa longueur vaut **3,5m**. La revanche du bassin :  $R_{bassin}=0,96 m$ .

### ☞ **Dimensions de blocs chicanes**

Grace à l'abaque de type II, on obtient :

*Tableau 34 : Dimensions des blocs Chicanes*

<i>Blocs chicanes</i>						
<i>Fr</i>	<i>y1</i>	<i>h2/y1</i>	<i>h2</i>	<i>h2 choisi</i>	<i>Lc</i>	<i>Esp</i>
7,97	0,11	1,5	0,17	0,15	0,04	0,15

## **III.10 CHENAL DE RESTITUTION**

Le chenal de restitution situe immédiatement à la sortie du bassin de dissipation, permet de restituer les eaux de déversement directement dans le lit du cours d'eau à l'aval.

La partie aménagée du chenal aura une largeur de 80,00 m e une longueur égale à celle du déversoir.

Il sera protégé par trois couches de gabions de 2\*1\*0.50 sur toute la largeur du déversoir soit 6,00 m au total. Ces gabions seront bloqués par un muret en béton ordinaire d'épaisseur 30cm et de profondeur 1,00m.

## **III.11 DISPOSITIF DE SECURITE ET DE SIGNALISATION**

Des garde fous en tubes galva rond lises de 50 mm de diamètre, en deux lits, sur toute la longueur du déversoir sont prévus pour assurer la sécurité des usagers.

Des balises sont placées le long du déversoir pour assurer une visibilité de signalisation de niveau d'eau et d'emprise du déversoir.

## **III.12 DIGUETTES DE PROTECTIONS**

Deux diguettes de protection sont proposées le long des extrémités du déversoir de manière à canaliser les eaux plus loin vers le lit naturel du cours d'eau afin d'éviter les retours vers la digue. Ces diguettes auront une longueur de d'environ 80m de manière à contenir les sinuosités du lit en aval du barrage.

La largeur en crête sera de 3,00 m avec des pentes des talus de 2H/1V. Sa constitution sera la même que celle de la digue du barrage. Les talus amont seront protégés en perrés maçonnés tandis que la protection des talus avals sera enrachement. la hauteur des diguettes doit contenir

le ressaut a l'aval du déversoir. A ce stade on prendra une hauteur de 1,50 m, la diguette sera alors calée à la cote 311,85m.

### **III.13 PRISE D'EAU ET VIDANGE DE LA RETENUE**

Il est revu un ouvrage de prise pour l'exploitation du barrage et qui devrait permettre également en cas de besoin de faire la vidange ou de rabaisser le niveau de l'eau dans la cuvette.

Il s'agit d'un ouvrage composé :

- D'un bac d'admission muni de grille
- D'une conduite de fonte Ø 300 enrobé dans le béton ordinaire
- D'un bac de sortie
- D'un robinet vanne Ø 300

### **III.14 BANDES DE SERVITUDES ET BORNAGES DES LIMITES PHE DE LA CUVETTE**

Suivant la réglementation en vigueur, il est déconseillé d'occuper les abords d'un cours d'eau ou barrage au-delà d'une certaine limite préconisée encore appelé bande de servitude qui est de 100,00 m à partir des du plan d'eau. Cette bande peut être ou pas incluse dans les bandes des plus hautes eaux. Dans tous les cas, pour plus de sécurité et diverses considérations les limites PHE seront bornés.

## **IV. ETUDES DE BASE**

### **IV.1 ETUDES GEOTECHNIQUES**

#### **IV.1.1 Déroulement de l'étude**

L'étude géotechnique du barrage de Pabré a été réalisée en deux phases :

- Une phase terrain au cours de laquelle :
  - ✓ Sept (07) puits à ciel ouvert de profondeur **0,20 à 4,30 m** ont été faits le long de l'axe de la digue pour l'identification du sol de fondation ;
  - ✓ Une zone d'emprunt d'argile a été recherchée pour le remblai argileux. Elle est identifiée dans la cuvette, à environ 500 m de l'axe de la digue du barrage. Dix (10) puits ont été creusés de profondeur 1,20 à 1,80 m ;
  - ✓ Une zone d'emprunt de latérite graveleuse pour les protections de la digue a été recherchée ;
  - ✓ Les carrières d'agrégats (sable, gravier et moellons) ont également été recherchées.
- Dans la seconde phase qui s'est effectuée au laboratoire, les échantillons prélevés dans

le sol de fondation de la digue et dans les zones d'emprunt ont été analysés.

#### **IV.1.2 Résultats des études géotechniques**

La fixation du prolongement de la digue et l'étanchement de la fondation seront assurés par une tranchée d'ancrage dont la profondeur variera en fonction du sol en place (nature et compacité) et de la charge d'eau.

Par ailleurs, la disponibilité au niveau de l'emprunt argileux non dispersive dans la cuvette est d'environ  $79\ 000\ m^3$  extensible. L'identification de ce matériau par la classification USCS, montre que nous avons de l'argile moyennement à peu plastique (CL). Ce matériau peut être utilisé pour la construction d'une digue homogène. Les matériaux de couche de pose et de protection sont également localisés et identifiés par des analyses au laboratoire. En outre, les paramètres essentiels de stabilité et d'ancrage seront déterminés.

#### **IV.2 ETUDES TOPOGRAPHIQUES**

Dans le cadre de la présente étude, une campagne topographique a été entreprise par le bureau d'études SERAT sur le barrage de Pabré et ses environs immédiats. Les travaux topographiques ont porté sur la mise en place d'une polygonale de base sur l'ensemble du site servant d'ossature aux levés de détails permettant la restitution de plans cotés.

Le report des informations recueillies sur le terrain en coordonnées X, Y, Z (terrain naturel, ouvrages existants, monticules, obstacles, arbres de plus de 50 cm de diamètre, profil en long et en travers etc.) a permis l'établissement des principaux plans en particulier le plan d'ensemble de la cuvette du barrage.

#### **IV.3 ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL**

L'évaluation environnementale retenue pour ce projet est une notice d'impact environnementale, ceci au regard de la description du projet qu'il indique et du secteur d'activité.

Alors cette étude d'Impact Environnementale Sociale Simplifiée ou notice d'impact environnementale nous permettra de faire une analyse prospective aux fins d'identification, d'évaluation et d'atténuation des incidences du projet sur l'environnement.

Les travaux de réhabilitation du barrage de Pabré auront des impacts aussi bien positifs que négatifs sur les milieux biophysiques et socio-économiques. Ces impacts sont énumérés dans en [Annexe 8](#).

Le plan de gestion environnementale du projet de réhabilitation contient des mesures d'atténuation formulées pour éviter ou diminuer les impacts négatifs et renforcer les impacts

positifs.

## **CONCLUSION**

La réalisation du barrage de Saalé initié par l'état burkinabé dans la commune De PABRE revêt une importance capitale. Entrant dans le cadre du Programme National de Développement Economique et Social (PNDES), le développement du secteur agro-sylvo-pastoral est un des objectifs stratégiques. Le projet de réalisation permettra de lutter contre la pauvreté, de renforcer la sécurité alimentaire et la vulnérabilité des populations et l'amélioration des conditions de vie des populations en milieu rural.

La retenue permettra de stocker d'après notre étude plus de huit cent mètres cube pour un cout global de **310 552 658 FCFA**. Cette capacité est largement suffisante pour satisfaire l'irrigation de 10 ha situés à son aval. Il appartient donc aux populations de tirer profit de ce joyau qui leur sera offert et surtout de s'impliquer dans sa gestion

Après l'étape de l'étude de la retenue, une autre étape suivra qui est celle de réalisation de l'étude par rapport à l'aménagement hydro agricole en aval. Cette étude fera ressortir le type de système d'irrigation et la chaine de valeur à mettre en place pour l'écoulement des produits de culture.

## RECOMMANDATIONS

La réalisation du barrage de Saalé est d'un grand intérêt pour la population de ce village. Il est donc plus qu'important que des mesures soient prises pour sa pérennisation. Nous proposons :

- La mise en place d'un comité de suivi et d'entretien du barrage avec les tâches suivantes :
  - Contrôle de la végétation sur l'ouvrage et à ses abords ;
  - Le comblement des ravines sur le remblai ;
  - Entretien des parements en maçonnerie ;
  - Réparation de fils rompus de gabions ;
  - Entretien du dispositif d'auscultation ;
  - Entretien des ouvrages hydrauliques (évacuateur, vidange).
- L'implication des agences de l'eau dans la surveillance du barrage
- La mise en place des CLE (comités locaux de l'eau) pour la gestion concertée et rationnelle de l'eau pour les besoins de la génération actuelle et celle à venir.

## **BIBLIOGRAPHIE**

### **Ouvrages et articles**

- ADEOSSI, G. (2016, 2017). L'étude d'impact environnemental et social.
- Begou, J. (2008, 2009). Evolution recente des regimes hydrologiques dans le niger moyen et son implication dans la gestion integree des ressources en eau.
- Bere, c. C. (2016). Etudes techniques detaillees de la rehabilitation du barrage de doulou, dans la province du boulkieunde, au burkina faso.
- Compaore, m. L. (2016, novembre). Cours de barrages 2ème édition.
- Degoutte, G. (2002). Petits barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Cemagref.
- Dgre. (2011). Etat des lieux des barrages au burkina.
- Durand, j. M. (1996, janvier). Petits barrages pour l'équipement rural en afrique.
- Durand, j. M., royet, p., & meriaux, p. (1999). Technique des petits barrages en afrique sahélienne et équatoriale. Cemagref.
- Fao. (1998, mars). Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'afrique sahélienne et tropicale sèche.
- Gid/cafi-b. (2017). Rehabilitation du barrage de goinre dans la commune de ouahigouya (province du yatenga, region du nord).
- GUEYE, I. (2012, 2013). Cours de barrage l2&l3.
- GUEYE, I. (2014, 2015). Dimensionnement des barrages.
- KARAMBIRI, H. (1998). Etude de l'envasement des barrages au burkina faso : etude de cas.
- KARAMBIRI, H., & NIANG, D. (2011, 2012). Chapitre iii le bassin versant et son complexe.
- KARAMBIRI, H., & RIBOLZI, O. (2003). Caractérisation des évènements averses-crues et de l'érosion hydrique à l'échelle d'un petit bassin versant pastoral sahélien (nord du burkina faso), (11).
- LO, M. (2016, 2017). Cours barrage 2016.
- Mairie. (2017). Plan communal de developpement de ouahigouya 2017-2021 (no. Rapport final). Ouahigouya.
- Mea. (2017). Situation de remplissage des retenues d'eau au 30 septembre 2017.
- Medah, i. (2015, octobre). Projet de reduction de la vulnerabilite des petits barrages au

changementclimatique.

- Nombre, a. (2014). Elaboration d'un manuel de surveillance et d'entretien des barrages en terre au profit des usagers locaux (no. Rapport intermédiaire). Ziniaré : agence de l'eau du nakanbé (aen).
- Ouedraogo, s. M. (2002). Réalisation d'études de barrages et d'aménagements hydro-agricoles. Elaboration de notice d'impact sur l'environnement.

### **Sites internet**

[www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov)

[www.fao.org](http://www.fao.org)



# ANNEXES

**Annexe 1** : PLUVIOMETRIE Annuelle de la Station de PABRE, Burkina Faso, Série de données de 1987 à 2016

Tableau 1 : Pluviométrie Annuelle de la Station de PABRE

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1987	0	0	20,5	0	5,9	93,9	204,7	156,3	152,8	58,2	0	0
1988	0	0	0	66,7	16,4	131,1	226,6	266,4	93	3,8	0	0
1989	0	0	37,1	0	14,8	60,8	189	217,9	81,1	32,7	0	0,6
1990	0	0	0	21,5	31,4							
1991	0	0	8,4	2,8	259,7	105,4	156,8	212,6	92	40,2	0	0
1992	0	0	0	3,4	27,4	98,7	250,9	259,1	61,7	9,3	0	0
1993	0	0	3,5	2,5	9,3	78,9	174,4	157,6	10,7	36,3	0	0
1994	0	0	2,3	3,2	56,3	149,4	196,6	275,3	98,5	42,1	0	0
1995	0	0	0	5,7	105,3	204,5	95,3	108,4	239,4	45	8,6	0
1996	0	0	0	19,2	77,9	99	35,5	141	104,5	26,5	0	0
1997	0	0	4	37	79,5	60	171,8	107	125,5	72,5	0	0
1998	0	0	0	3,5	13,5	39,1	273,2	178,5	185	47	0	0
1999	0	1	0	30,5	89,9	70,5	223					
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	0	3	6	7,5	55,5	183,5	197,1	259				
2004	0			15	22,5	43,4	237,4	102,7	80,8	2,4		
2005		49		10,7		92,9	208,1	318,5	66,1	6,2	0	0
2006	0	0	0	41,2	16,9	91,9	210,6	321	92,5	58,8	0	0
2007	0	0	0		64,4	35	111	258,8				
2008	0		0	0	83,2	108,6	291,9	203,7	62	26,6	0	0
2009	0	0	0	19	45	80	174,4	159	177,5	0	0	0
2010	0	0	0	0	113,3	131,4	136	323,5	220,1	72,1		0
2011	0	0	0	0	0	55,8	149,9	88,4	47,2	0	0	0
2012	0		0	37,2	52	70,2	113	244,1	133,6	12,6	0	0
2013	0	0	0	17,5						20,3	0	0
2014	3,5	0	0	19,3	97,6	32,4	202,7	153,1	123,2	43,1	0	0
2015	0	0	0	0	39,6	105,3	235,4	334,9	101,6	64,8	0	0
2016	0	0	28	8,1	94,1	61	423,1	209	166,4	6,7	0	0

Annexe 1 : Pluviométrie journalière de la Station de PABRE, Burkina Faso, Série de données de 1987 à 2016

[Tableau 2 : Pluviométrie journalière de la Station de PABRE](#)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1987	0	0	14,7	0	2,5	39	39,8	44,9	73,1	40,1	0	0
1988	0	0	0	32,1	15,5	33,4	51	35,7	21,8	3,1	0	0
1989	0	0	32,3	0	7,2	16,5	55,4	27,8	25,5	16,5	0	0,6
1990	0	0	0	17,4	23,1							
1991	0	0	8,4	2,8	107	32,1	48,8	38,4	56,2	29,2	0	0
1992	0	0	0	3,4	10	33,3	55,2	72,5	24,1	5	0	0
1993	0	0	3,5	2,5	9,3	25,1	54	46,2	10,4	20	0	0
1994	0	0	2,3	3,2	38	43,4	37,2	42,5	24,9	16,1	0	0
1995	0	0	0	5,7	39,3	61,8	35,3	29	61	22	6	0
1996	0	0	0	11	30	27	16,5	43	20	24	0	0
1997	0	0	4	26	37	28	38,9	38	33	39	0	0
1998	0	0	0	3,5	7,5	19	87	71	55	20	0	0
1999	0	1	0	14	50	30	45					
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	0	3	6	7	31,5	56	44,5	58,5				
2004	0	0		12,5	10	33	61,9	20,5	30	2,4		
2005		49	0,7	8		37,5	44	43,5	25,5	3,4	0	0
2006	0	0	0	40	14	53,5	61	56	36,7	16,9	0	0
2007	0	0	0		26,2	35	29,2	63,5				
2008	0	0	0	0	39	28,5	62,5	33	32	14,2	0	0
2009	0	0	0	19	45	26	54,4	32,4	160	0	0	0
2010	0	0	0	0	52	40	35	80	82,2	30,3		0
2011	0	0	0	0	0	31	46	32,3	23,7	0	0	0
2012	0	0	0	27	26	22,2	24,9	44,2	41	12,6	0	0
2013	0	0	0	15						12,4	0	0
2014	2,6	0	0	16,3	29	11	47,2	25,1	28,3	39,1	0	0
2015	0	0	0	0	12	75	59,5	64	30	44	0	0
2016	0	0	17	6,5	22,9	22	180	64,3	48,8	6,7	0	0

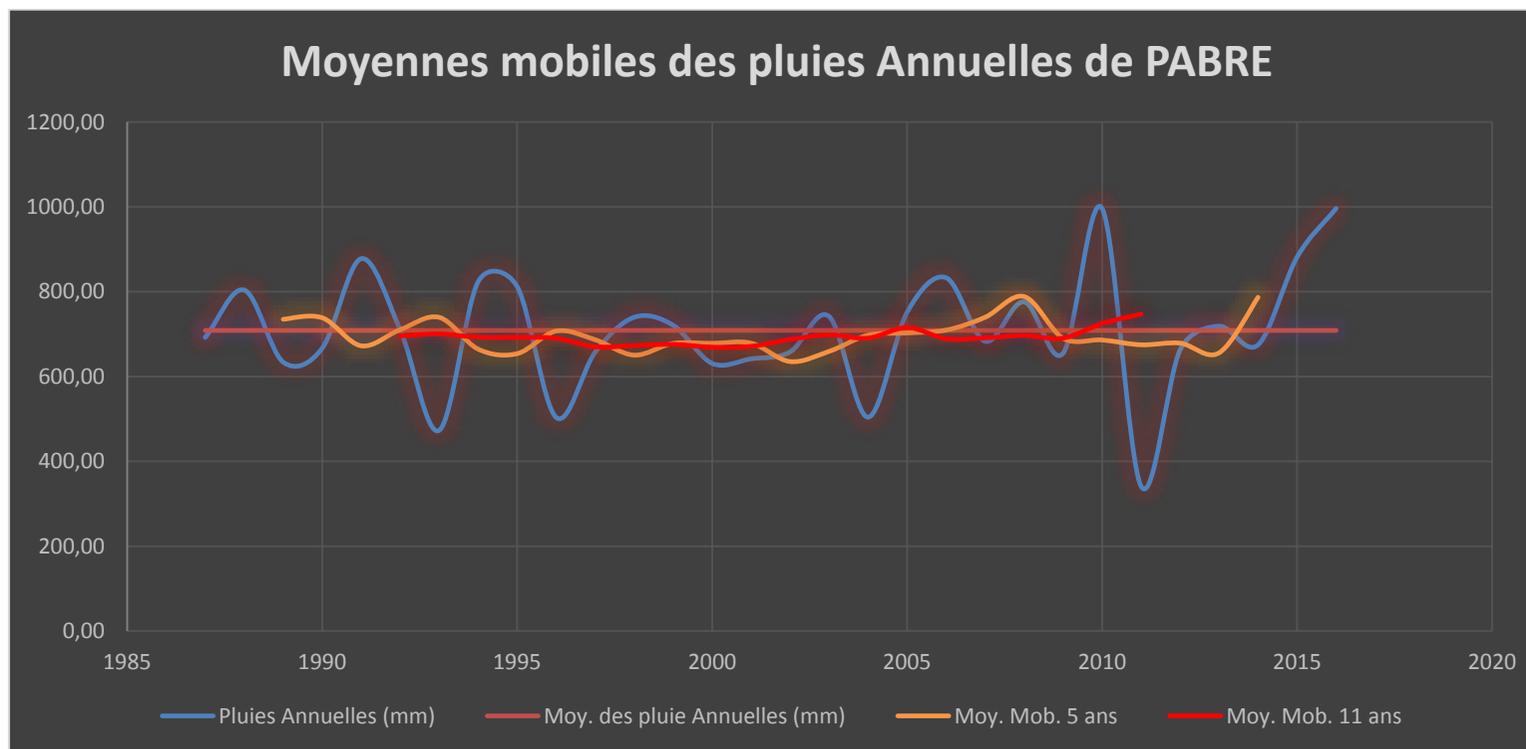
Annexe 3 : contrôle DES Données pluviométriques

Année(s)	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<b>Pluies Annuelles (mm)</b>	692,30	804,00	634,00	666,74	877,90	710,50	473,20	823,70	812,20	503,60	657,30	739,80	720,97	631,06	641,79
<b>Moy. des pluie Annuelles (mm)</b>	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709
<b>Moy. Mob. 5 ans</b>			735	739	672	710	740	665	654	707	687	651	678	678	679
<b>Moy. Mob. 11 ans</b>						696	700	693	692	690	670	673	676	669	671
Année(s)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Pluies Annuelles (mm)</b>	658,15	741,69	504,20	751,50	832,90	683,02	776,00	654,90	996,40	341,30	662,70	718,83	674,90	881,60	996,40
<b>Moy. des pluie Annuelles (mm)</b>	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709	709
<b>Moy. Mob. 5 ans</b>	635	664	698	703	710	740	789	690	686	675	679	656	787		
<b>Moy. Mob. 11 ans</b>	695	703	700	733	694	691	697	691	725	747					

Tableau 3 : Calcul de la moyenne mobile sur 11 ans et 5 ans, des données Pluviométrique annuelles de la Station de PABRE

Annexe 4 : contrôle DES Données pluviométriques

Graphique 1 : Moyenne Mobile des données Pluviométrique annuelles de la Station de PABRE, Burkina Faso, Série de données de 1987 à 2016



## Annexe 5: contrôle DES Données pluviométriques

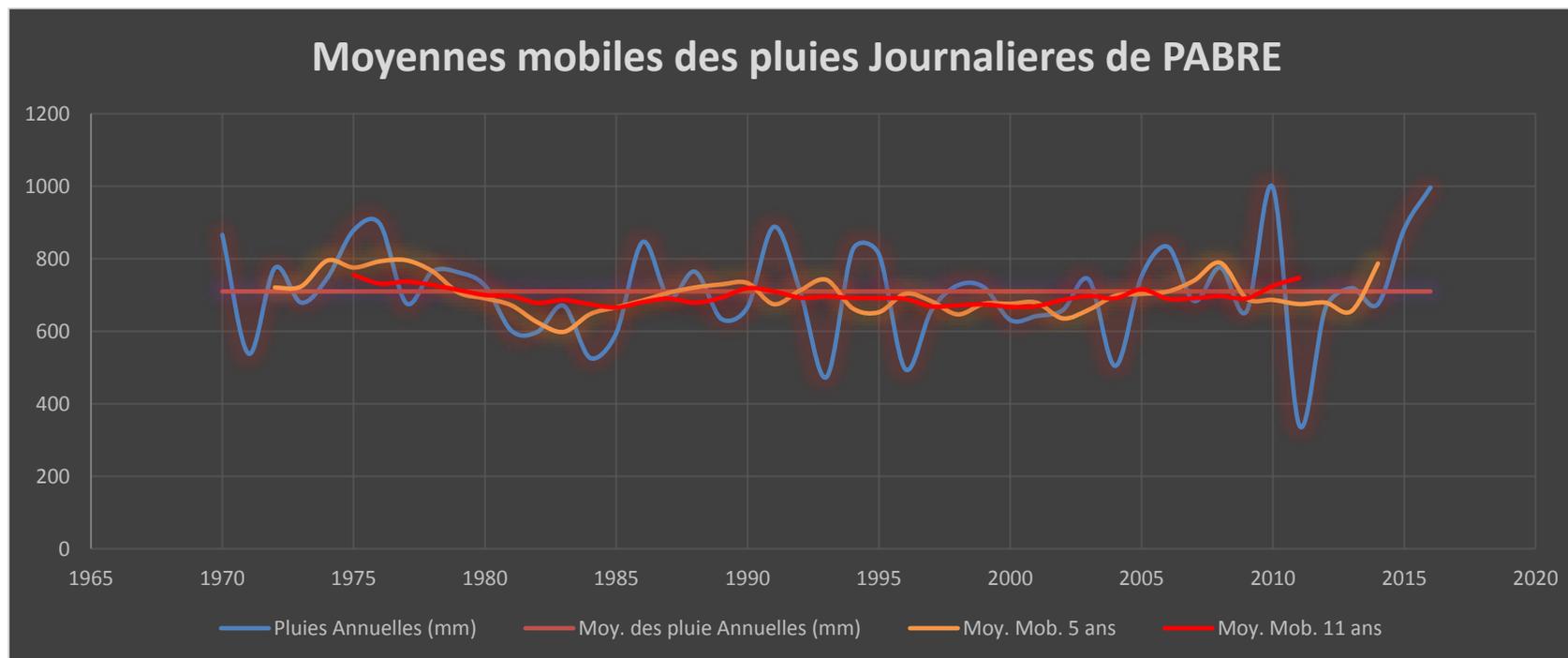
Tableau 4 : calcul de la moyenne mobile des données Pluviométriques journalières de la Station de PABRE, Burkina Faso, Série de données de 1987 à 2016

Année(s)	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<b>Pluies Annuelles (mm)</b>	73,10	51,00	55,40	23,10	107,00	72,50	54,00	43,40	61,80	43,00	39,00	87,00	50,00	41,14	34,39
<b>Moy. des pluie Annuelles (mm)</b>	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
<b>Moy. Mob. 5 ans</b>			62	62	62	60	68	55	48	55	56	52	50	51	45
<b>Moy. Mob. 11 ans</b>						57	58	58	57	58	52	50	51	52	51

Année(s)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Pluies Annuelles (mm)</b>	40,79	58,50	61,90	49,00	61,00	63,50	62,50	160,00	82,20	46,00	44,20	15,00	47,20	75,00	180,00
<b>Moy. des pluie Annuelles (mm)</b>	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
<b>Moy. Mob. 5 ans</b>	47	49	54	59	60	79	86	83	79	69	47	45	72		
<b>Moy. Mob. 11 ans</b>	53	55	62	65	65	66	64	63	64	76					

Annexe 6: contrôle DES Données pluviométriques

Graphique 2 : Moyenne mobile de la Pluviométrie journalière de la Station de PABRE, Burkina Faso, Série de données de 1987 à 2016



## ANNEXE 7 : ETUDES PLUVIOMETRIQUES

## 1 SYNTHÈSE DE L'ANALYSE FREQUENTIELLE

Après le traitement des données et la vérification sur le logiciel Hyfran nous avons obtenu les résultats ci-dessous :

**Tableau 5 : Caractéristiques des données pluviométriques de la station de PABRE :**

Années de mesure des pluies annuelles moyennes	1987 à 2016
Nombre total d'échantillons	30
Années de mesure des pluies journalières maximales	1987 à 2016
Nombre total d'échantillons	30

Source : direction de la météorologie

Les échantillons ont une taille de 30 ans, durée minimale que doivent avoir les données de ce type pour la validation de l'analyse météorologique.

### Les pluies annuelles

La synthèse de l'analyse des pluies donne les résultats suivants :

**Tableau 6 : Analyses des séries de pluies annuelles à la station de PABRE**

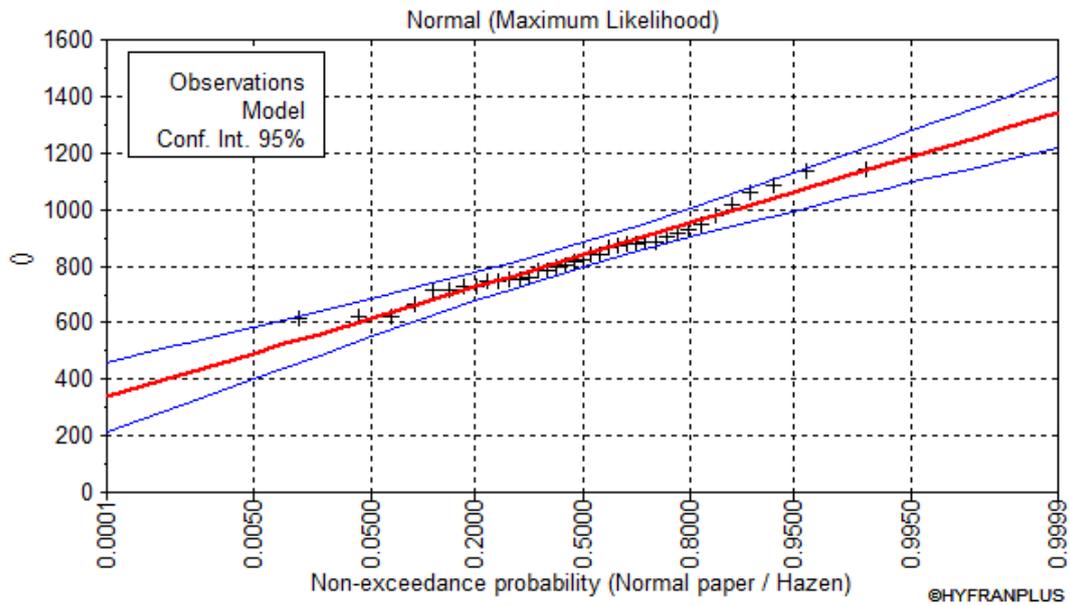
Désignation	Résultats
Station	PABRE
Taille de l'échantillon	30
Période de mesures	1987 - 2016
Nombre d'échantillons valides	30
Valeur maximale	996
Valeur minimale	341
Moyenne	709
Ecart type	142
Médiane	701
Pourcentage Intervalle de confiance	80%

**Tableau 7 : Résultats de l'ajustement des séries de pluies annuelles à la station de PABRE**

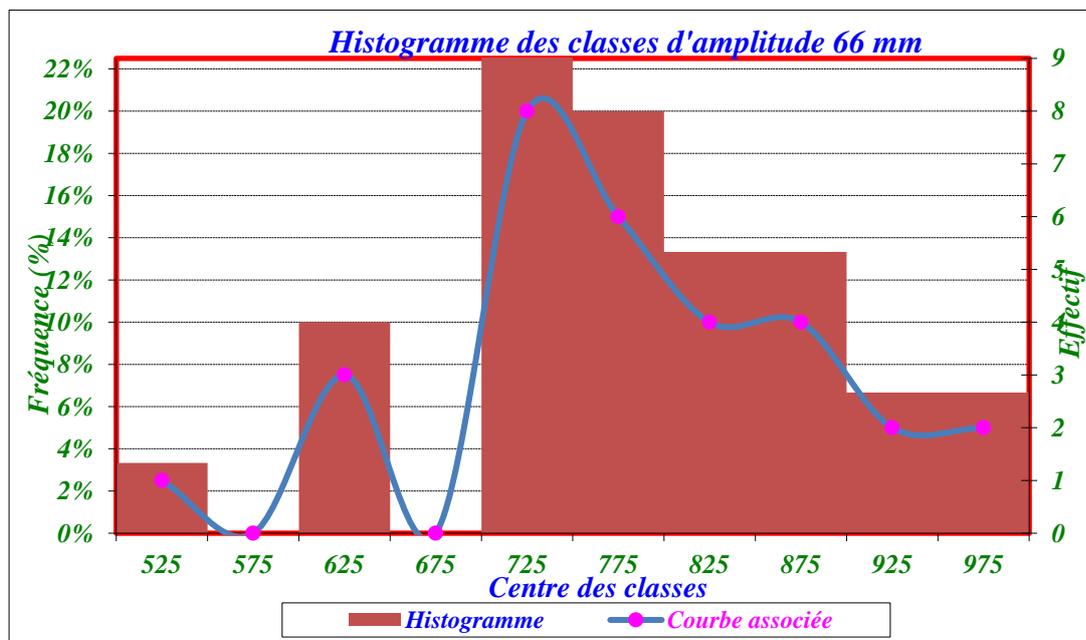
Période	Durée de Retour	Fréquence F(x)	up	Pluie (xp)
Sèche	5 ans	0,2	-0,842	589,19
Humide		0,8	0,842	828,39
Sèche	10 ans	0,1	-1,282	526,67
Humide		0,9	1,282	890,90
Sèche	20 ans	0,05	-1,645	475,04
Humide		0,95	1,645	942,53
Sèche	50 ans	0,02	-2,054	416,93
Humide		0,98	2,054	1000,64
Sèche	100 ans	0,01	-2,326	378,20
Humide		0,99	2,326	1039,38

Sèche	1000 ans	0,001	-3,090	269,64
Humide		0,999	3,090	1147,93

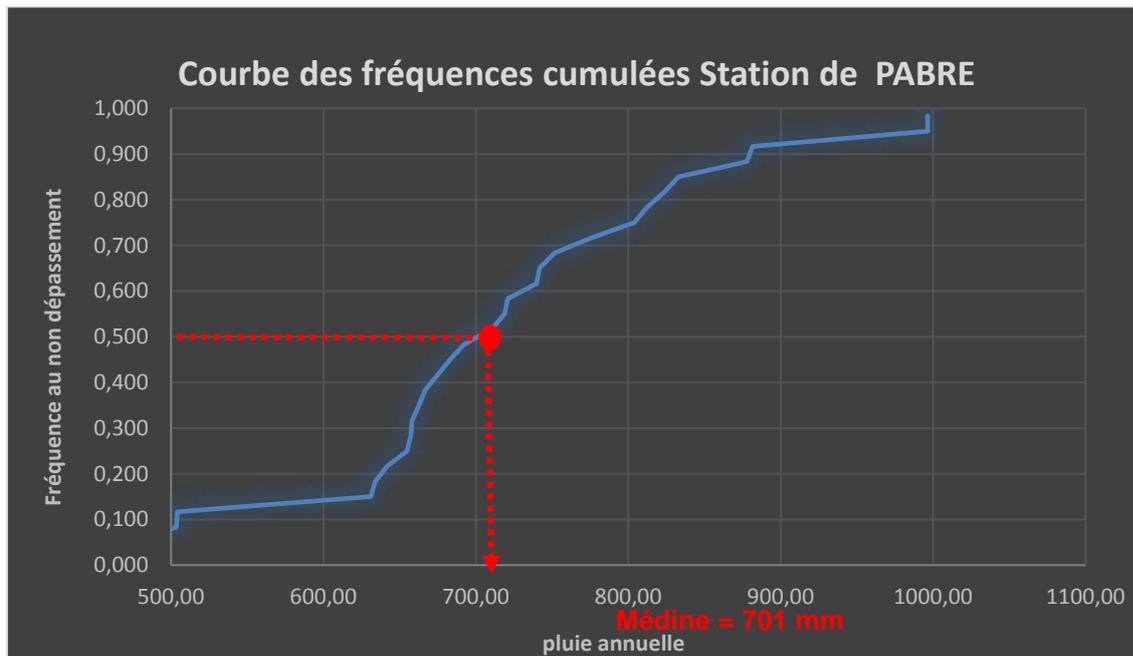
Graphique 3 : Analyse statistique des données pluviométriques annuelle de PABRE



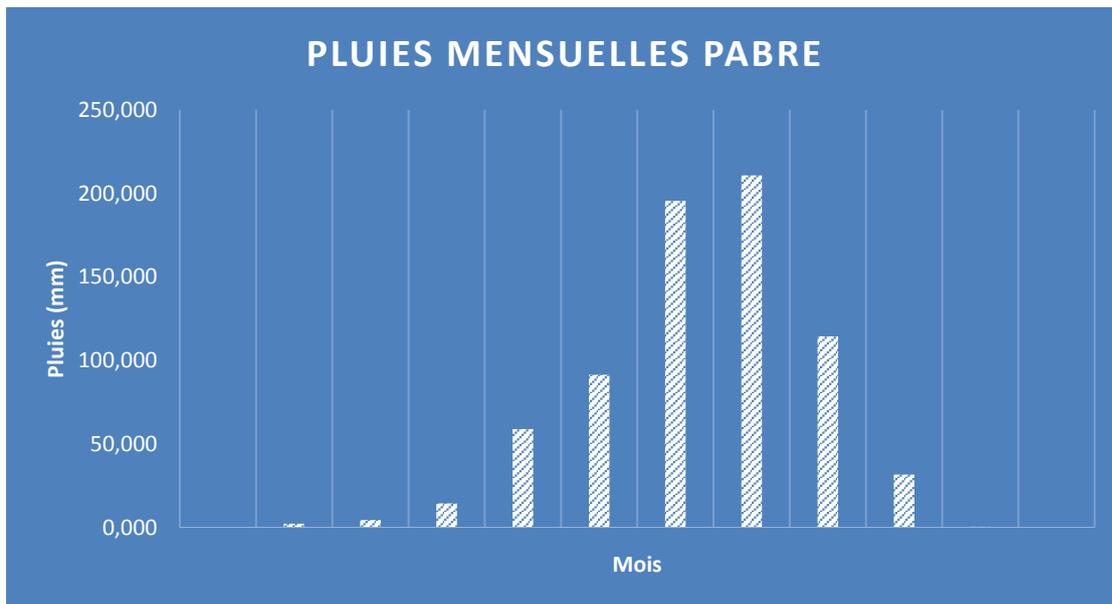
Graphique 4 : Histogramme des classes d'amplitudes des données pluviométriques de PABRE



Graphique 5 : Courbes des fréquences cumulées de le station de PABRE



Graphique 6 : Pluies mensuelles de la station de PABRE



### Les pluies journalières maximales

Tableau 8 : Analyses des séries de pluies maximales journalières à la station PABRE

Désignation	Résultats
Station	PABRE
Taille de l'échantillon	30
Périodes de mesure	1987 - 2016
Nombre d'échantillons valides	30
Valeur maximale	180
Valeur minimale	15
Moyenne	63
Ecart type	35
Médiane	55
Pourcentage Intervalle de confiance	80%

Tableau 9. :Paramètre de la loi de GUMBEL

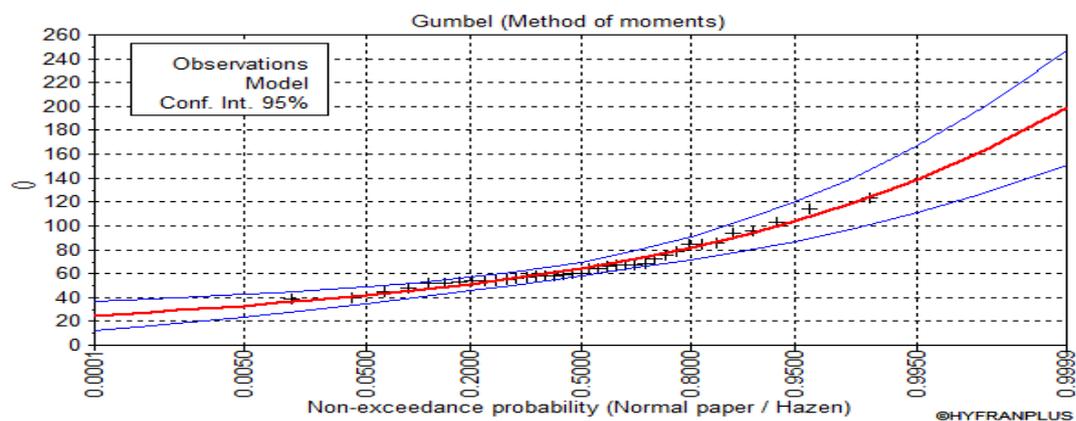
Paramètres de la loi	
a	0,037
x <sub>0</sub>	47,135

Tableau 10. : Analyses des séries de pluies maximales journalières à la station PABRE

Période	Durée de Retour	Fréquence F(x)	up	Pluie (xp)	k
Sèche	5 ans	0,2	-0,476	34,254	-0,294
Humide		0,8	1,500	87,737	0,174
Sèche	10 ans	0,1	-0,834	24,559	-0,372
Humide		0,9	2,250	108,050	0,252
Sèche	20 ans	0,05	-1,097	17,436	-0,411
Humide		0,95	2,970	127,535	0,291
Sèche	50 ans	0,02	-1,364	10,212	-0,434
Humide		0,98	3,902	152,757	0,314
Sèche	100 ans	0,01	-1,527	5,796	-0,442
Humide		0,99	4,600	171,656	0,322
Sèche	1000 ans	0,001	-1,933	-5,179	-0,449

Humide		0,999	6,907	234,107	0,329
--------	--	-------	-------	---------	-------

Graphique 7 : Analyse des données pluviométrique journalière de PABRE



Graphique 8 : Déficit Hydrique annuel de la Zone du PABRE

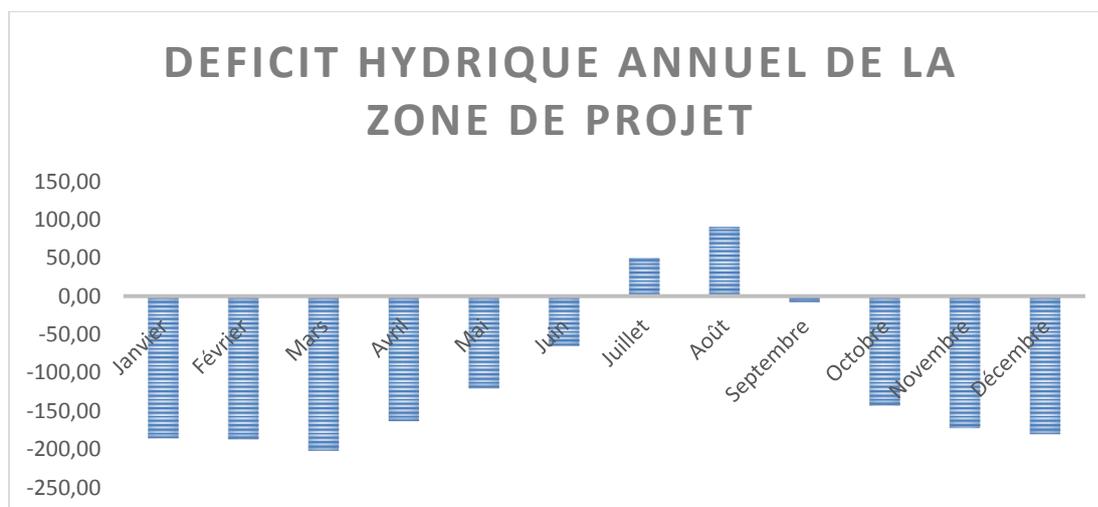


Tableau 11 : Synthèse des pluies annuelles et journalières maximales à PABRE

Pluies périodiques	Valeurs (mm)
Pluie annuelle moyenne (Pan)	<b>709</b>
Pluie décennale humide	<b>890.90</b>
Pluie décennale sèche	<b>526.67</b>
Pluie quinquennale humide	<b>828.39</b>
Pluie quinquennale sèche	<b>589.19</b>

Pluie journalière décennale humide (P10)	<b>108.65</b>
Pluie journalière centennale humide (P100)	<b>234.11</b>

## ANNEXE 8 : ETUDES HYDROLOGIQUES

## Caractéristiques physiques et géomorphologique du bassin versant

Après délimitation sur ARC Gis nous obtenons le bassin versant suivant :

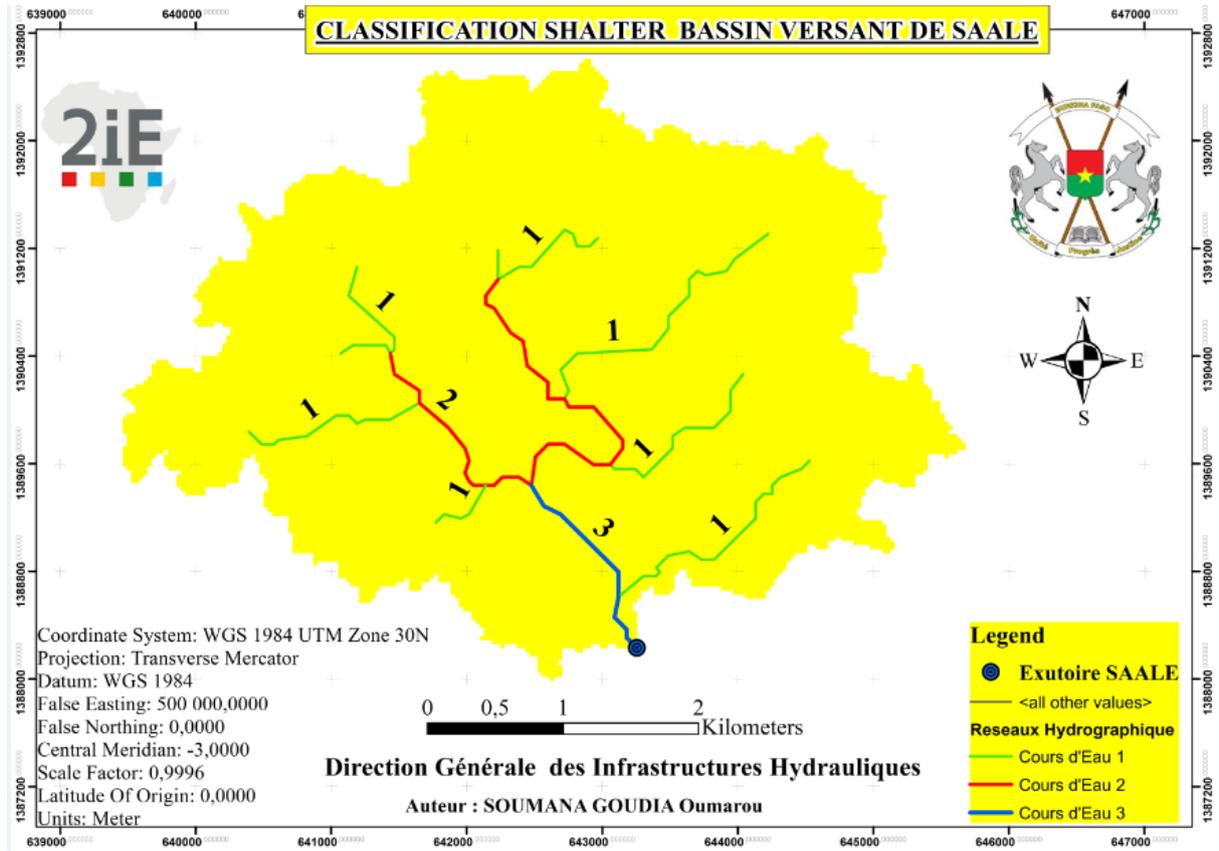


Figure 1 : délimitation bassin versant de Saalé

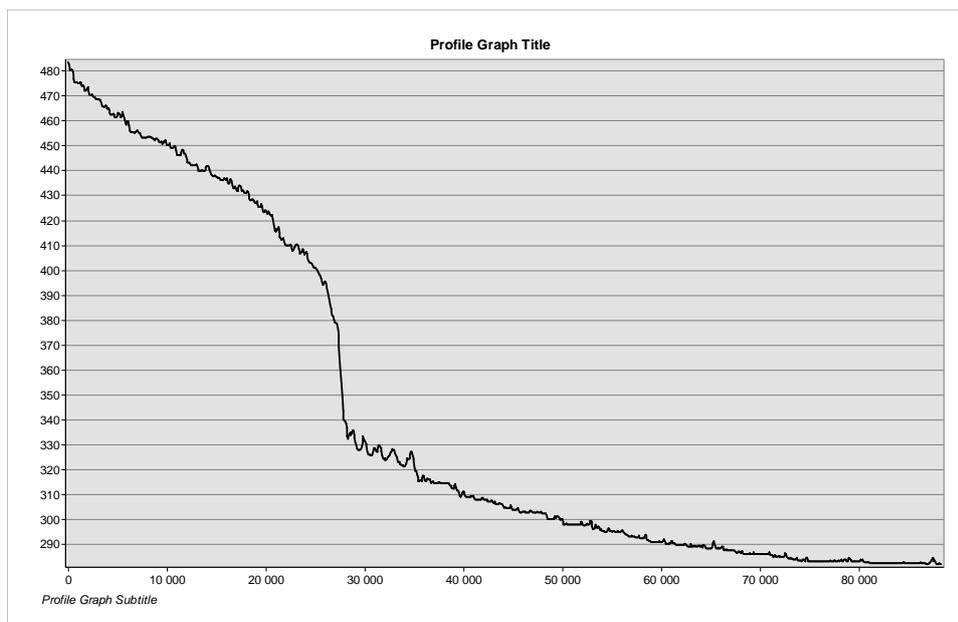
Les caractéristiques suivantes :

Superficie (km <sup>2</sup> )	16,26
Périmètre (km)	22,92

Tableau 12 : Caractéristiques bassin versant

- ❖ La pente longitudinale

Partir du profil en long du cours d'eau principal ci-dessous présenté nous permet de déterminer la pente longitudinale.



Graphique 9 : Profil en long de cours d'eau principal

$$I(\text{‰}) = \frac{\Delta H}{Lc} = 6,44$$

$$I(\text{‰}) = 6,44$$

Les expériences de ORSTOM faites par RODIER et AUVREY en 1965 et reprises par RODIER en 1996 ont permis de définir les indices de pentes de bassins versant et de déterminer leur classification comme présenté dans le tableau ci-dessus.

Tableau 14 : Indice de pente

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

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

Dans le cas du barrage de Saalé, la pente du bassin versant est égale à 6,44 ‰, ce qui permet de classer le bassin versant alimentant le barrage dans la classe R3 ou les terrains sont entre plaines et ondulation.

❖ La perméabilité du sol

Au regard de la nature du substratum du bassin versant de Saalé, on peut classer le bassin versant dans la classe d'infiltration **P3** ou **RI** qui désigne un bassin versant relativement imperméable, suivant la classification de **Rodier et Auvrey**.

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

❖ Indice de compacité de Gravelus

Cet indice est aussi appel coefficient de forme et correspond au rapport du périmètre du bassin versant à celui d'un cercle de même forme.

$$Ic = 0,28 * \frac{P}{S^{0.5}} = 1,60$$

$$Ic = 1,60$$

Le bassin versant est de forme allongée car **Ic > 1**

❖ La longueur du rectangle équivalent

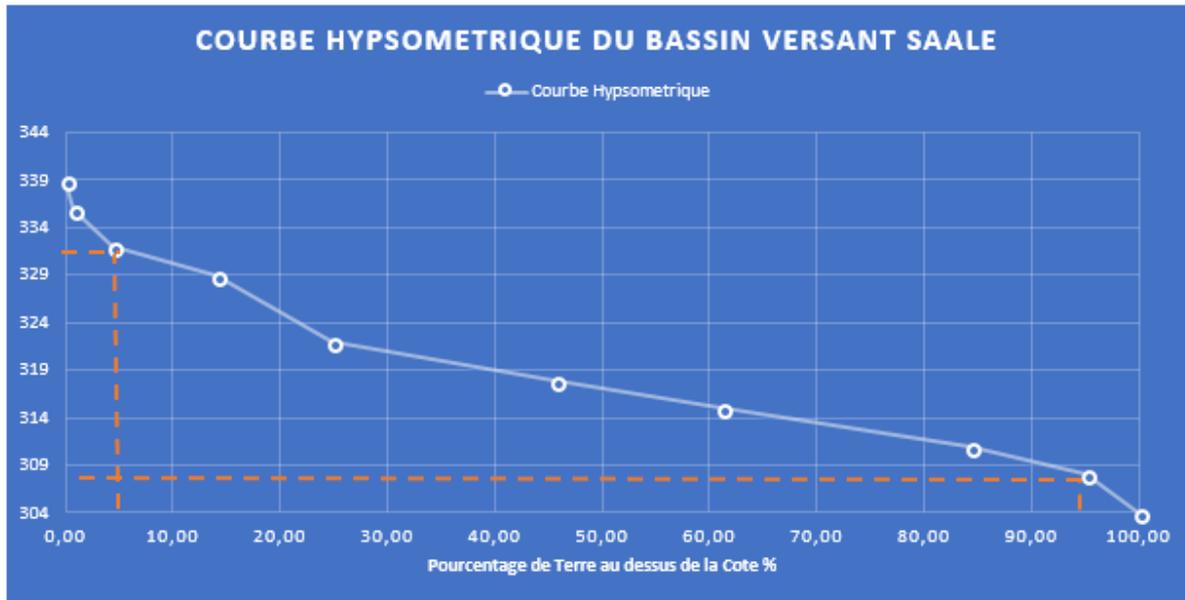
La longueur est calculée par la relation

$$L_{eq} = \frac{P + \sqrt{(P^2 - 16 * S)}}{4} = 9.8$$

$$L_{eq} = 9,8 \text{ km}$$

❖ Courbe Hypsométrique

Elle représente la répartition de la surface du bassin versant en pourcentage en fonction de son altitude



Graphique 10 : La courbe Hypsométrique du bassin versant

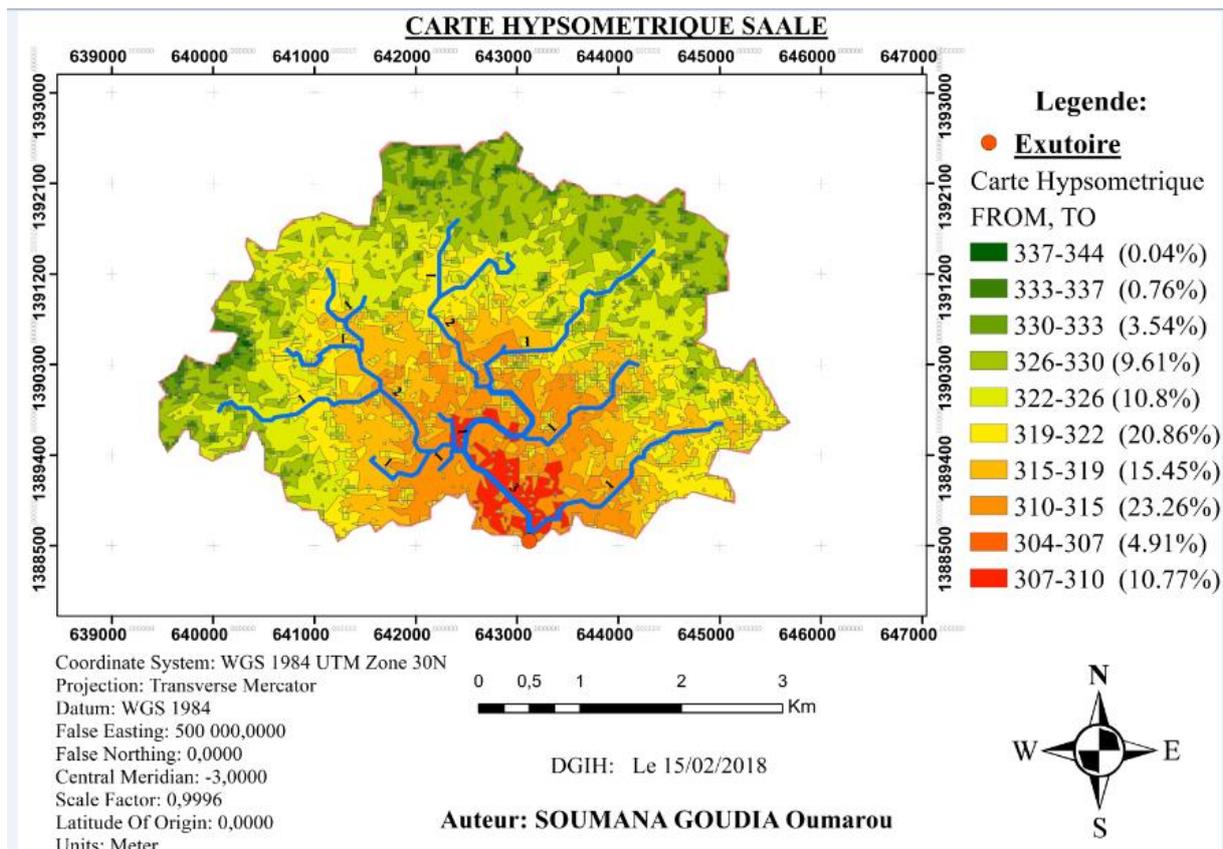


Figure 2 : Courbe hypsométrique

De la courbe nous avons  $H_{5\%} = 331.79$  m et  $H_{95\%} = 308.7$  m.

### ❖ Indice global de pente $I_g$

Il est défini par la formule

$$I_g \text{ (m/km)} = \frac{D}{L} = 2.42$$

$$I_g \text{ (m/km)} = 2,42 \text{ ‰}$$

### ❖ Indice global de pente $I_g$ corrigé

#### - La pente transversale

Elle est déterminée en faisant la moyenne de quatre à six pentes transversales calculée en prenant la ligne de plus grande pente des versants.

Dans notre cas  $I_t = 5.9 \text{ m/km}$ .

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

$$I_{g_{cor}} = 3,58 \text{ m/km}$$

### ❖ La dénivelée spécifique

C'est le produit de pente global de pente par la racine carrée de la surface du bassin versant.

$$Ds = I_{g_{corr}} * \sqrt{S}$$

$$Ds = 14,44 \text{ mm}$$

Tableau 15 : Type de relief en fonction de la dénivelée spécifique

<i>DS (m)</i>	<i>Type de Relief</i>
<i>DS &lt; 50</i>	<i>Relief faible</i>
<i>50 &lt; DS &lt; 100</i>	<i>Relief modéré</i>
<i>100 &lt; DS</i>	<i>Relief fort</i>

Source : (FAO et al., 1998).

On a  $Ds = 14.94 \text{ m}$ , alors le relief du bassin de Pabré est faible.

### ❖ Le coefficient de ruissèlement décennal (Kr10)

#### - La méthode ORSTOM de PUECH et CHABI-GONNI

L'évolution de  $Kr_{10}$  (%) en fonction de la géologie et de la pluie annuelle déterminée par la méthode de PUCH et CHABI-GONNI en 1983, est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Equation de détermination de Kr10 par la méthode de PUECH

Catégorie	Formule
Granites	$K_1 = 2300P_{an}^{-0.67}$
Grès	$K_2 = 300P_{an}^{-0.375}$
Sables	$K_3 = 2,10^7 P_{an}^{-2.2}$
Argile + marnes	$K_4 = 300P_{an}^{-0.3}$
Schistes	$K_5 = 370P_{an}^{-0.375}$

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

$$K_{r10} = \sum_{i=1}^5 a_i K_i$$

Avec  $a_i = \% \text{ de sol de type } i$

L'exploitation de la carte géologique du Burkina montre que le bassin versant du barrage est à dominante argileuse et on peut de ce fait utiliser la formule ;

$$K_{r10} = 300P_{an}^{-0.375}$$

La valeur de kr10 déterminée est de 41,41 %

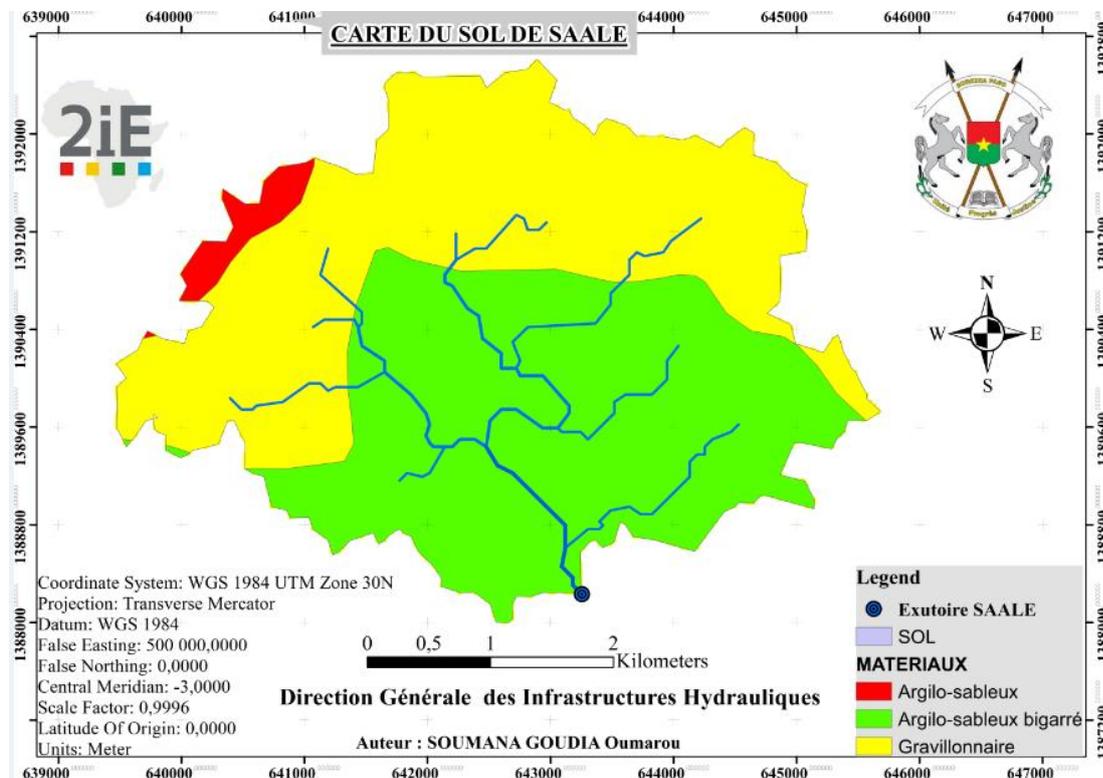


Figure 3 : Carte Géologique

- La méthode ORSTOM de détermination de KR10

Pour une précipitation décennale ponctuelle  $P_{10}$  différente de 70 et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissèlement  $Kr_{10}$  est faite par interpolation linéaire entre les valeurs de  $kr_{70}$  et  $kr_{100}$ . Ces valeurs sont déterminées graphiquement à l'aide des courbes empiriques ou à partir des équations analytiques des formes générales présentées ci-dessous.

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

En régime tropical sec ; pour un bassin versant dont la superficie est supérieure à 10 km<sup>2</sup>, pour une classe d'infiltrabilité P3 (RI) et pour un indice global de pente comprise entre 3 et 7, les variables a, b et c de  $kr_{70}$  et  $kr_{100}$  nécessaire à la détermination des coefficients de ruissèlement sont présentées dans le tableau suivant :

[Tableau 16 : Coefficient de détermination de  \$kr\_{70}\$  et  \$kr\_{100}\$](#)

Coefficient de ruissèlement	Ig (m/km)	A	b	c
$kr_{70}$	3	164	17	10.5
	7	239	17.7	14,5
$kr_{100}$	3	250	20	12
	7	300	20	15

Par interpolation des  $kr_{70}$  et  $kr_{100}$  ainsi déterminées à partir des coefficients a, b et c, le  $kr_{10}$  correspondant à l'indice global de pente corrigé de 3 % ainsi déterminé est consignée dans le tableau suivant.

[Tableau 17 : Détermination de  \$kr\_{10}\$  \(%\)](#)

$kr_{70}$ (%)	$kr_{100}$ (%)	$kr_{10}$ (%)
16,84	19,99	19,26

Comparaison des résultats

La méthode ORSTOM de PUECH et CHABI-GONNI :  **$Kr_{10} = 41,40 \%$**

La méthode par ajustement des courbes  $Kr_{70}$  et  $Kr_{100}$  :  **$Kr_{10} = 19,26 \%$**

Nous retiendrons la valeur donnée par la méthode ORSTOM et PUECH et CHABI-GONNI :  $Kr_{10} = 41,40\%$  qui est la plus grande valeur trouvée par les deux méthodes.

#### ▪ Méthode CIEH

Les équations que nous utiliserons pour le Burkina Faso sont les suivantes :

[Equation N°39 – Formulation pour le Burkina Faso en fonction de S et de  \$kr\_{10}\$](#)

$$Q_{10} = 0,410 * S^{0,425} * kr_{10}^{0,923}$$

Equation N°40 – Formulation pour le Burkina Faso en fonction de S, Ig, et de kr10

$$Q_{10} = 0,254 * S^{0,462} * Ig^{0,101} * kr_{10}^{0,976}$$

Tableau 18 : Méthode CIEH

<i>Méthode CIEH</i>							
<i>Equations</i>	<i>a</i>	<i>S</i>	<i>Ig</i>	<i>Pan</i>	<i>P<sub>m10</sub></i>	<i>Kr<sub>10</sub></i>	<i>Q<sub>10</sub></i>
39	0,41	0,425				0,92	39,61
40	0,254	0,462	0,101			0,98	40,1
						Q <sub>10cieh</sub>	39,6

▪ **Construction de l’hydrogramme de crue**

C’est le graphique de la variation du débit en fonction du temps durant une crue. Il est proposé par Grésillon, Herter et Lahaye basé sur le principe des tronçons linéaires. Le débit Q appelé débit de discontinuité s’établit à partir de la relation suivante :

$$\frac{Q}{Q_{max}} = \frac{2}{\alpha_{10}} * \frac{T_{b10} - \alpha_{10} * T_{m10}}{T_{b10} - 2 * T_{m10}}$$

Tableau 19 : Méthode de Grésillon Herter Lahaye

<i>Formule de GRESILLON HERTER LAHAYE</i>		
<i>Q/Qmax</i>	<i>Tm</i>	<i>Tb</i>
0,282	306,63	904.04

Les coordonnées des différents points sont donc :

<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>0</b>	<b>0</b>
<b>306,63</b>	<b>75,05</b>
<b>526.63,6</b>	<b>26,98</b>
<b>904.04</b>	<b>0</b>

## ANNEXE 9 : ETUDES des APPORTS

## 1. Apports liquides

☞ Méthode du déficit d'écoulement annuel

$$D = P - L_e$$

Avec D = le déficit d'écoulement (m)

- ✦ P= la pluviométrie annuelle (m)
- ✦ Le = la lame d'eau écoulé en (m)

Données :

T	35,36 °C
Pan	839 mm

Appliquons la formule de Coutagne :

$$D = P - \lambda P^2$$

Avec  $\lambda = \frac{1}{0,8+0,14*\bar{T}}$

Cette relation est valable si  $P \in \left[ \frac{1}{8\lambda}; \frac{1}{2\lambda} \right]$

Si  $P < \frac{1}{8\lambda}$  alors  $D = P$  et  $Q = 0$

Si  $P > \frac{1}{2\lambda}$  alors  $D = \frac{1}{4\lambda} = \frac{0,8+0,14*\bar{T}}{4} = 0,20 + 0,035 * \bar{T}$

Si  $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$  alors  $D = P - \lambda P^2$

Tableau 20 : Récapitulatif du calcul des apports par la méthode de Coutagne

<b>FORMULE DE COUTAGNE</b>	P moy. Annuelle	709	mm	0,7087852
	Superficie	16,26	km <sup>2</sup>	
	T moy. Annuelle	28,2	°C	
	λ (lamda)	0,211		$1/8\lambda < Pan < 1/2\lambda$
	Déficit hydrique Coutagne	0,603	m	
	Q	105,8	mm	
	Apport liquide en année moyenne	1 720 438	m <sup>3</sup>	
	ke Coefficient d'écoulement	0,149		1 000

	Ke5		0,10		0,7Ke
	Ke10		0,075		0,5Ke
	Apport liquide en année quinquennale sèche		179 780	m3	
	Apport liquide en année decennale sèche		639192	m3	
	Apport liquide en année quinquennale humide		1016470		

Les apports dans le bassin se résume dans le tableau ci-dessous

[Tableau 21 : Les Apports par la Méthode Coutagne](#)

Année	Ke	S	P	Apport m3
Moyenne	0,149	16,26	709	1720438
Décennale Sèche	0,07464	16,26	526,67	639192
Quinquennale Sèche	0,1045	16,26	598,24	1016470

#### ☞ La Méthode de **RODIER**

la Méthode de **RODIER** pour estimer ces derniers, Nous procéderons au calcul par deux Méthode :

$V = Ke \times S \times P$	<p><b>P</b> = Pluviométrie annuelle (mm)</p> <p><b>S</b> = Superficie du Bassin Versant (Km2)</p> <p><b>Ke</b> = <i>Coefficient d'écoulement</i></p>
----------------------------	--

#### Détermination du coefficient d'écoulement (Bulletin FAO 54 )

Les coefficients d'écoulement extrême pour le zone de SAALÉ peuvent être approchées par la Méthode **RODIER** de l'**ORSTOM**.

Nous sommes en d'un bassin versant de type de classe 2 ( $2 < S < 40 \text{ km}^2$ ) en Zone sahélienne, sol argile-limoneux et Dénivelée spécifique (Ds) donnant une faible Pente. On peut l'assimilé à l'un de bassin versant étudiés (Cf ; **Bulletin 54 de la FAO : crues et apports, page 126-127**).

Tableau 22 : Détermination du coefficient d'écoulement Bulletin Fao

Année	Ke (%)
Moyenne	<b>8.49</b>
Décennale Humide	<b>16.48</b>
Décennale Sèche	<b>4.36</b>

Tableau 23 : Calculs des apports d'eau sur le Bassin versant

Année	Ke (%)	S (km <sup>2</sup> )	P (mm)	Apport (m <sup>3</sup> )
Moyenne	<b>8.49</b>	<b>16.26</b>	<b>709</b>	<b>978740</b>
Décennale Humide	<b>16.48</b>	<b>16.26</b>	<b>890.90</b>	<b>2387305</b>
Décennale Sèche	<b>4.36</b>	<b>16.26</b>	<b>526.67</b>	<b>373374</b>

## 2. Dépôt solides

☞ Formule de **GRESILLON**)

$$D = 700 * \left( \frac{P}{500} \right)^{-2.2} * S^{-0.1}$$

$$D = 245,80 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$$

• Formule de **GOTTSCHALK**

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

$$D = 196,93 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$$

Tableau 24 : Calculs dépôt solides

<b>GRESILLON</b>		<b>GOTTSCHALK</b>		<b>V<sub>moyen</sub> m<sup>3</sup>/an</b>
<b>D<sub>1</sub> (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an)</b>	<b>V<sub>1</sub> (m<sup>3</sup>/an)</b>	<b>D<sub>2</sub>(m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an)</b>	<b>V<sub>2</sub>(m<sup>3</sup>/an)</b>	
245.80	3996.76	196.93	3198.76	<b>3597.76</b>

☞ Formule de **KARAMBIRI**.

$$D = 137 * \left( \frac{P}{700} \right)^{-2.02} * S^{-0.05} * [0,25 + 1,13 * (h + r)]^{1,15} ; \quad V_s = D * S * n$$

Avec :

H : paramètre anthropique, pris ceci égale à 0,55 (bassin versant comportant des petites villes et des villages moyens) ; R : paramètre morphologique, pris égale à 0.55 (relief moyen)

P : la pluviométrie moyenne annuelle (mm) ; S : la superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)

D : la dégradation spécifique annuelle (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an) ; V<sub>s</sub> : Volume de dépôts solides (m<sup>3</sup>/an)

n : la durée de vie de l'ouvrage

Les résultats sont dans le tableau suivant :

Apports solides (Formule de KARAMBIRI)							
S (km2)	P (mm)	h	r	D (m3/km2/an)	Vs (m3/an)	V retenue (m3)	n (ans)
16,26	790	0,55	0,55	147,99	<b>2406,274</b>	72188.1	<b>30</b>

## ANNEXE 10 : Estimation des besoins en eau

## ☞ Les cultures

L'estimation des besoins s'est faite avec la tomate, l'oignon et le chou pour le maraichage et la riziculture, l'efficacité du système étant de 0,6.

Superficie	10	ha
------------	----	----

La FAO propose l'utilisation de l'évapotranspiration de référence (ET<sub>o</sub>) en lieu et place de l'évapotranspiration potentielle (ETP). En effet, l'évapotranspiration de référence est une quantité d'eau perdue par une végétation de référence en phase active de croissance recouvrant totalement un sol assurant une alimentation hydrique optimale. Nous avons utilisé les logiciels de la FAO dénommés **CROPWAT** et **CLIMWAT** pour trouver les valeurs de K<sub>c</sub> :

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m <sup>2</sup> /jour	ET <sub>o</sub> mm/jour
Janvier	16.1	33.3	32	199	8.2	18.9	5.77
Février	19.1	36.2	32	199	8.1	20.2	6.38
Mars	23.1	38.3	33	207	8.0	21.3	7.12
Avril	25.9	38.9	41	233	7.1	20.5	7.38
Mai	25.6	37.2	58	268	7.8	21.3	6.88
Juin	23.7	34.2	70	251	7.6	20.6	5.63
Juillet	22.4	31.8	87	225	6.8	19.6	4.29
Août	21.9	30.8	85	190	6.1	18.8	4.06
Septembre	21.9	32.0	79	164	6.5	19.1	4.33
Octobre	22.6	35.3	63	164	8.2	20.5	5.29
Novembre	19.3	35.8	47	156	8.6	19.6	5.38
Décembre	16.8	33.6	41	173	8.2	18.3	5.22
<b>Moyenne</b>	<b>21.5</b>	<b>34.8</b>	<b>56</b>	<b>202</b>	<b>7.6</b>	<b>19.9</b>	<b>5.64</b>

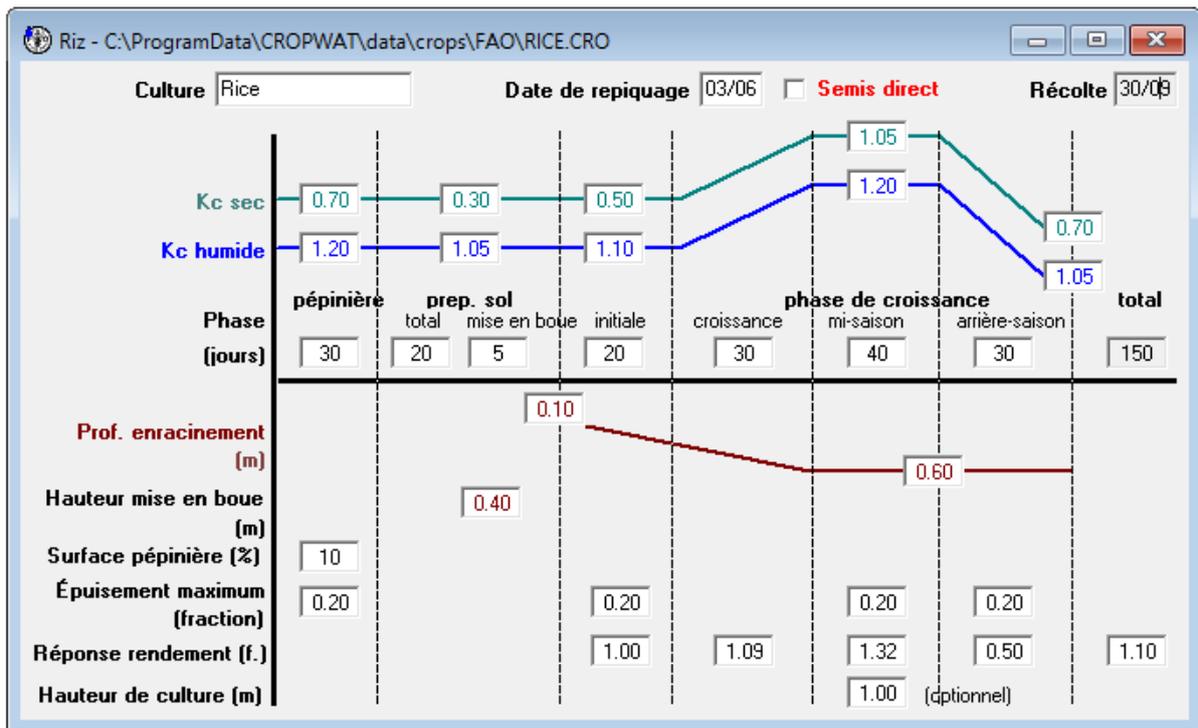


Figure 4 : Valeurs de Kc du Riz par le logiciel Crop wat

Tableau 25 : Besoin en eau de la tomate (1.5 ha)

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Total
ETO (mm/mois)	158.70	161.40	156.60	173.10	191.40	
kc	0.60	0.84	1.16	1.17	0.92	
Pe (mm/mois)	29.50	1.00	1.00	-	1.00	
ETM (mm/mois)	95.22	135.04	181.66	201.95	175.45	
BM (mm/mois)	65.72	134.04	180.66	201.95	174.45	
RFU (mm)	103.00	103.00	103.00	103.00	103.00	
F (j)	47.02	23.05	17.10	15.30	17.71	
T(j)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
Dr(mm)	6.57	13.40	18.07	20.20	17.45	

Tableau 26 : Besoin en eau de l'oignon (3 ha)

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Total
<b>ETO (mm/mois)</b>	158.70	161.40	156.60	173.10	191.40	
<b>kc</b>	0.79	1.19	1.22	1.18	0.84	
<b>Pe (mm/mois)</b>	29.50	1.00	1.00	-	1.00	
<b>ETM (mm/mois)</b>	124.84	192.60	191.05	204.26	160.78	
<b>BM (mm/mois)</b>	95.34	191.60	190.05	204.26	159.78	
<b>RFU (mm)</b>	82.40	82.40	82.40	82.40	82.40	
<b>F (j)</b>	25.93	12.90	13.01	12.10	15.47	
<b>T(j)</b>	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
<b>Dr(mm)</b>	9.53	19.16	19.01	20.43	15.98	
<b>Vr (m3/j)</b>	286.03	574.81	570.16	612.77	479.33	2 523.10
<b>Ep</b>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
<b>Db (mm/j)</b>	19.07	38.32	38.01	40.85	31.96	
<b>Db(m3/j)</b>	572.06	149.62	140.31	225.55	958.66	
<b>Nombre d'arrosage</b>	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
<b>DB (m3/mois)</b>	720.64	496.24	403.12	255.48	9 586.56	50 462.04

Tableau 27. Besoin en eau du chou

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Total
ETO (mm/mois)	158.70	161.40	156.60	173.10	191.40	142.40	
kc	0.70	0.75	0.93	1.07	1.08	1.01	
Pe (mm/mois)	29.50	1.00	1.00	-	1.00	3.933333333	
ETM (mm/mois)	111.09	120.512	145.638	185.794	206.074	143.112	
BM (mm/mois)	81.59	119.512	144.638	185.794	205.074	139.178667	
RFU (mm)	34.33	34.33	34.33	34.33	34.33	34.33	
F (j)	12.62	8.62	7.12	5.54	5.02	7.40	
T(j)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
Dr(mm)	8.16	11.95	14.46	18.58	20.51	13.92	
Vr (m3/j)	40.80	59.76	72.32	92.90	102.54	69.59	437.89
Ep	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
Db (mm/j)	16.32	23.90	28.93	37.16	41.01	27.84	
Db(m3/j)	81.59	119.51	144.64	185.79	205.07	139.18	
Nombre d'arrosage	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
DB (m3/mois)	815.90	195.12	446.38	857.94	050.74	1 391.79	8 757.87

Les besoins en eau exprimés à partir de deux spéculations suivant le calendrier suivant :

Mois	Nombre de jours	Besoins en eau des cultures m3/ha	
		Riziculture	Maraichage
Janvier	31	0	3882
Février	29	0	3647
Mars	31	0	3790
Avril	30	0	
Mai	31	0	
Juin	30	1500	0
Juillet	31	2580	0
Aout	31	1960	0
Septembre	30	3130	
Octobre	31	0	
Novembre	30	0	2365
Décembre	31	0	2881
Total		<b>9170</b>	<b>16565</b>
Total Général		<b>25735</b>	

Tableau 28 : Besoin en Eaux Agricoles

#### ☞ Les PERTES

Pertes par évaporation selon <b>POUYAUD</b>												
Mois	Jan	Fév	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc
Nbre jours	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Evap Bac A (mm)	260,8	279,6	340,9	327,7	313,9	253,6	206,9	170,9	171,2	218,9	236,4	244,6
Evap Bac (mm/j)	6,00	6,51	7,05	7,02	6,70	6,02	5,22	4,65	4,75	5,40	5,77	5,77
Evap retenue (mm)	185,9	188,7	218,4	210,5	207,85	180,4	161,7	144,1	142,4	167,3	172,9	178,8
<b>TOTAL</b>	<b>2159,53</b>											

Tableau 29, Pertes par Evaporation selon POUYAUD

☞ L'Infiltration

Perte par infiltration												
Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juin	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc
Nbre jours	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Infiltration/j	93	87	93	90	93	-	-	-	-	93	90	93
<b>TOTAL</b>	<b>639</b>											

[Tableau 29, Pertes par Infiltration](#)

## Annexe 11 : ETUDE DE LA CUVETTE

Tableau 30 : Répartition de la surface et du volume en fonction des tranches de côtes

N°	Cote	Superficie Cumulée (m <sup>2</sup> )	Superficie Cumulée (ha)	Tranches d'Eau (m)	Superficie Moyenne (ha)	Superficie Moyenne (m <sup>2</sup> )	Volume Partiel (m <sup>3</sup> )	Volume cumulé (m <sup>3</sup> )
1	310,00	0	0,0000	0	0	0	0,00	0
2	310,50	407,99	0,0408	0,5	0,0203995	203,995	102,00	102,00
3	310,75	9368,18	0,9368	0,25	0,4888085	4888,085	1222,02	1324,00
4	311,00	19119,36	1,9119	0,25	1,424377	14243,77	3560,94	4885,00
5	311,25	34298,65	3,4299	0,25	2,6709005	26709,005	6677,25	11562,00
6	311,50	53569,15	5,3569	0,25	4,39339	43933,9	10983,48	22562,00
7	311,75	85553,25	8,5553	0,25	6,95612	69561,2	17390,30	39936,00
8	312,00	119748,12	11,9748	0,25	10,2650685	102650,685	25662,67	65599,00
9	312,25	154627,47	15,4627	0,25	13,7187795	137187,795	34296,95	99896,00
10	312,50	193670,91	19,3671	0,25	17,414919	174149,19	43537,30	143433,00
11	312,75	252378,96	25,2379	0,25	22,3024935	223024,935	55756,23	199189,00
12	313,00	300459,3	30,0459	0,25	27,641913	276419,13	69104,78	268294,00
13	313,25	354091,75	35,4092	0,25	32,7275525	327275,525	81818,88	350113,00
14	313,50	408057,06	40,8057	0,25	38,1074405	381074,405	95268,60	445381,00
15	313,75	469924,32	46,9924	0,25	43,899069	438990,69	109747,67	555129,00
16	314,00	533090,1	53,3090	0,25	50,150721	501507,21	125376,80	680506,00
17	314,25	590277,04	59,0277	0,25	56,168357	561683,57	140420,89	820927,00
18	314,50	662013,03	66,2013	0,25	62,6145035	626145,035	156536,26	977463,00
19	314,75	729167,37	72,9167	0,25	69,55902	695590,2	173897,55	1151361,00
20	315,00	790106,72	79,0107	0,25	75,9637045	759637,045	189909,26	1341270,00

Nous avons pu avoir une estimation du volume de la retenue. A la côte du déversoir, nous avons un volume de **1151361,0m<sup>3</sup>**.

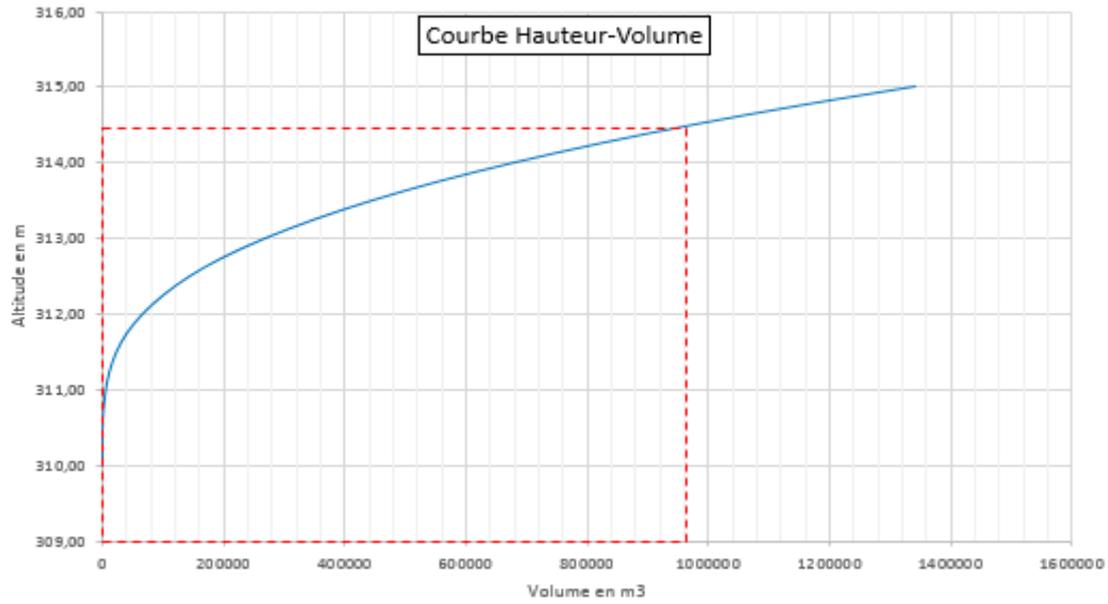


Figure 5 : Courbe hauteur Volume

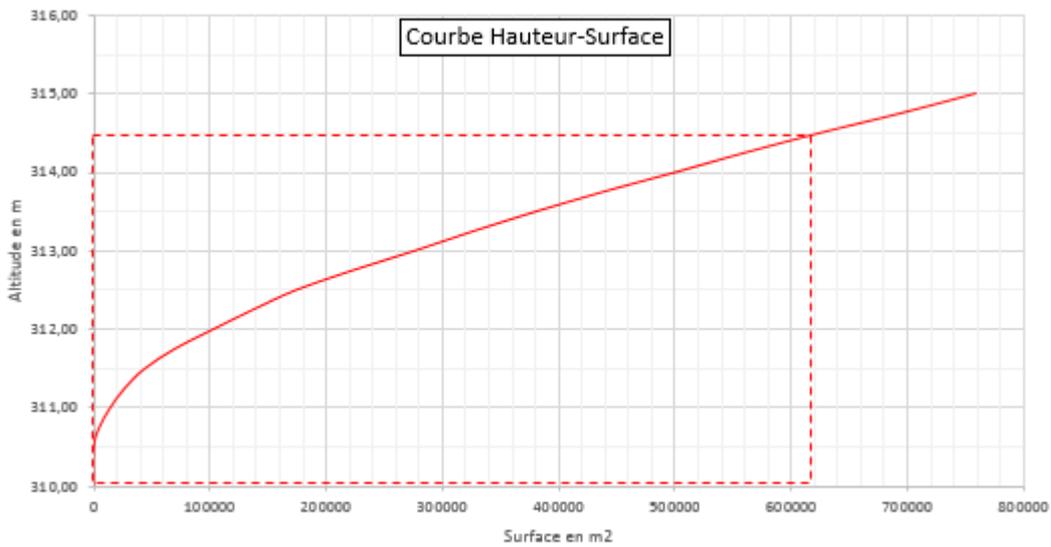


Figure 6 : Courbe Hauteur-Surface

Tableau : Capacité de la retenue

<b>PEN</b>	<b>314.00</b>	<b>680.506m<sup>3</sup></b>	<b>53.309ha</b>
<b>PHE</b>	<b>314.75</b>	<b>1 151 361</b>	<b>72.917ha</b>

*Tableau : Caractéristiques de l'Evacuateur de crue*

<b>Cote Digue</b>	<b>Revanche</b>	<b>Lame d'eau</b>	<b>Cote crête Evacuateur</b>	<b>PEN (ha)</b>	<b>PHE(ha)</b>	<b>Cote fonds Evacuateur</b>	<b>Hauteur d'eau</b>
<b>315.25</b>	<b>0.50</b>	<b>0.75</b>	<b>314.00</b>	<b>53.309</b>	<b>72.917</b>	<b>310.35</b>	<b>3.65</b>

## Annexe 12: EtUDE DE LA digue et des ouvrages annexes

## LA DIGUE

### ☞ Largeur en crête

Des formules empiriques permettent de déterminer cette hauteur, dans la pratique la largeur en crête  $L_c$  est supérieur à trois (03) mètre.

$$\text{KNAPPEN } l_c = 1.65 * \sqrt{E}$$

$$\text{PREECE } l_c = 1.1 * \sqrt{E} + 1$$

$$\text{Autres formules } l_c = 3.6 * \sqrt[3]{E} - 3$$

KNAPPEN	PREECE	Autres formules	moyenne
3,64	3,43	3,72	3,50

Nous retiendrons la moyenne des trois formules qui est de **3,50 m**

### ☞ Effet des vagues et revanche libre

La hauteur des vagues peut être calculée selon des formules empiriques

#### Formule de Mallet et Pacquant

La hauteur des vagues

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

h= hauteur des vagues (m)

f= fetch (km)

$$h = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} * \sqrt{4.52} = 1,21 \text{ m}$$

$$h = 1,21 \text{ m}$$

La vitesse des vagues

La vitesse de propagation des vagues de hauteurs comprises entre 0.5 et 2m est donnée par la formule

$$V = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} * h$$

$$V = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} * 1,21 = 2,31$$

$$V = 2,31 \text{ m/s}$$

La revanche libre

La revanche libre R est donnée par la formule

$$R = A * \left( h + \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$R = 0,75 * \left( 1,21 + \frac{2,31^2}{2 * 9,81} \right) = 1,61$$

$$R = 0,99 \text{ m}$$

### Formule de GAILLARD

-La vitesse des vagues

La vitesse de propagation des vagues peut être évaluée approximativement par la formule

$$V = 1.5 + 2 * h$$

$$V = 1.5 + 2 * 1,21 = 3,92 \text{ m/s}$$

$$V = 3,92 \text{ m/s}$$

La revanche libre minimum peut être approximée par la formule :

$$R = 0.75 * h + \frac{V^2}{2 * g} = 0,75 * 1,78 + \frac{3,92^2}{2 * 9,81} = 2,11$$

$$R = 2,11 \text{ m}$$

**La revanche libre minimum autre formule :**

$$R = 1 + 0,3 * \sqrt{f}$$

$$R = 1 + 0,3 * \sqrt{4,52}$$

$$R = 1,63 \text{ m}$$

### Approche simplifiée

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

Les valeurs proposées sont consignées dans le tableau ci-dessous :

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

Source : Petits Barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi- Cemagref – Comité Français des grands barrages.

Pour une hauteur de la digue de **4,9 m** et un volume de la retenue de **134,7 mm<sup>3</sup>**, le coefficient  $H^2\sqrt{V} = 278,66$ . En procédant par extrapolation la revanche minimale est de **0,99 m**.

Il sera donc considéré une valeur de :

$$R = 1.24m$$

## Annex 12 : ETUDES DES INFILTRATION ET STABILITE DU BARRAGE

## BARRAGE

### ETUDES DES INFILTRATION ET STABILITE DU BARRAGE

Détermination de section de la digue

- **Calcul de la base  $l_B$**

Nous savons que  $l_B = l_c + H_B * \left[ \frac{1}{\text{tg}\alpha_1} + \frac{1}{\text{tg}\alpha_2} \right]$

$$l_B = 21.48 \text{ m}$$

### Détermination des paramètres du drain

#### Longueur du drain à mettre en place

Elle est prise égal  $\left( \frac{1}{4} \text{ à } \frac{1}{3} \right) * L_f$

$$Ld = \frac{l_B}{3.5} = \frac{21,48}{3.5}$$

$$\boxed{Ld = 6,136 \text{ m}}$$

#### Calcul du paramètre b

$$b = \frac{Hr}{\text{tg}\alpha} = \frac{3.65}{2,5} = 1,46 \text{ m}$$

$$\boxed{b = 1,46 \text{ m}}$$

#### Calcul du paramètre d

$$d = l_B - Ld - 0,7 * b$$

$$d = 21,48 - 6,136 - 0,7 * 1,46 = 14,32$$

$$\boxed{d = 14,32 \text{ m}}$$

#### Détermination de $Y_0$

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

$$y_0 = \sqrt{4.9^2 + 14,32^2} - 14,32 = 0,81 \text{ m}$$

$$y_0 = 0,81 \text{ m}$$

### Equation de fuite

L'équation du débit de fuite est établie comme suite

$$\text{avec } q = k (\sqrt{H^2 + d^2} - d)$$

### Évaluation du débit de fuite

$$q = kr * y_0$$

$$K_r = \text{perméabilité du remblai ; } K_r = 10^{-7} \text{ m/s}$$

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

$$q = 1 * 10^{-6} * 0,81$$

$$q = 0,81 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

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. Ainsi, il est nécessaire d'envisager un dispositif de protection contre ces eaux, qui est composé du drain filtre.

### ✓ Caractéristiques du drain

#### L'épaisseur du drain

$$e_d = 2 * \left[ \frac{q * l_d}{K_d} \right]$$

$$k_d = k_{\text{argile}} = 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$e_d = 2 * \left[ \frac{0,81 * 10^{-7} * 6,136}{10^{-4}} \right]^{0.5} = 0,5 \text{ m}$$

Nous retiendrons la valeur de 0,5 m

$$e = 50 \text{ cm}$$

#### Longueur du drain

**La hauteur du drain**

$$Ld = 6,136 \text{ m}$$
$$y_0 = h_d = 0,81 \text{ m}$$

**Protection des talus amont et aval :**

$$e = 1,5 * D_{50}$$
$$D_{50} = f(h_v) = 0,3 \text{ m}$$
$$e = 1,5 * 0,3 = 0,45 \text{ m}$$

On adoptera ainsi une protection amont en enrochement de 0,45 mètre et en aval une protection en matériau latéritique de 0,45 mètre.

### Annexe 13 : ouvrage de prise

## Détermination du temps de vidange

$$C = 0,80$$

$$\Delta H = \text{Côte PEN} - \text{Côte de l'eau à la sortie} = 314 - 312 = 2m$$

Nous adopterons une conduite de prise circulaire

$$Q = c * \pi * \frac{D^2}{4} * \sqrt{2gh}$$

Tableau 31 : Temps de vidange

c	D (mm)	g	h	V (m3)	Vitesse moyenne	Q moyen (m3/s)
0,8	300	9,81	2	680 506	2,31	1,179

Nous prévoyons deux conduites en fonte ductile de  $\Phi$  300 afin de faciliter la vidange du barrage. Avec un débit moyen de **1,173 m<sup>3</sup>/s**.

## Annexe 14 : DIMENSIONNEMENT DU BASSIN DE DISSIPATION

La hauteur  $H_o$  du déversoir correspond à la côte PEN. Nous avons  $H_o = 3.65 m$ . Alors les ratios suivants sont à déterminer :

$$\frac{h}{H_o} = 0,22 \text{ et } \frac{Y_n}{H_o} = 0,34$$

Ces deux ratios permettent d'évaluer la profondeur du bassin grâce à l'abaque ci-dessous :

$$D/H_o = 0,08 \text{ soit } D = \mathbf{0,24m.}$$

Convenons de prendre 30 cm.

Tableau 32 : Calcul de la longueur d'ancrage

Profondeur Chenal d'évacuation							
Formule Manning strickler	Débit de crue	Débit unitaire	Coef rugosité	Pente	Largeur bassin	fruit de berge	Profondeur normale
	$Q_0$	$q$	$K_s$	$I$	$L$	$m$	$Y_n$
	218,86	0,95	75	0,60%	230	1	1,01

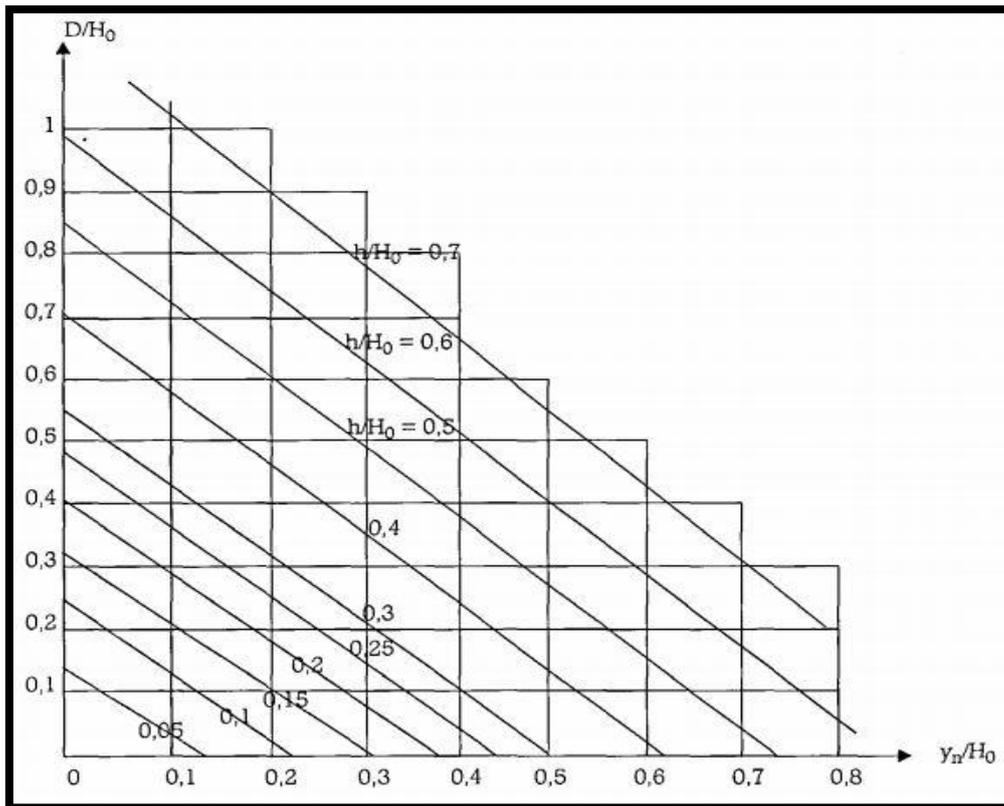


Figure 7 : Abaque de détermination de la profondeur du bassin de dissipation

Connaissant la profondeur du bassin, on détermine le tirant d'eau avant le ressaut  $Y_1$  et la vitesse de chute  $V_1$  en résolvant le système suivant :

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

q : débit spécifique (débit par longueur du seuil) en m<sup>3</sup>/s/ml

$$V = q/h \text{ (m/s)}$$

Nous obtenons les valeurs suivantes :  $y_1 = 0,11 \text{ m}$  et  $V_1 = 8,40 \text{ m/s}$  donnant un nombre de Froude de :

$$Fr = V_1/\sqrt{gy}$$

$$Fr = 8,4/\sqrt{9,81 \times 0,11}$$

$$\text{soit } Fr = 7,97$$

Le nombre de Froude est supérieur 4,5, ce qui correspond à la valeur limite pour une vitesse inférieure à 15 m/s. Le ressaut se produit donc de façon nette. Notre choix se porte sur un bassin de dissipation de type II.

#### Calcul du tirant d'eau conjuguée $y_2$ et la vitesse $V_2$

$$y_2 = \frac{y_1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_r^2} - 1 \right)$$

$$y_2 = \frac{0,11}{2} \left( \sqrt{1 + 8 \times 7,97^2} - 1 \right)$$

$$y_2 = 1,22 \text{ m}$$

$$V_2 = \frac{q}{Y_2} = \frac{0,95}{1,22}$$

$$V_2 = 0,78 \text{ m/s}$$

#### Détermination de la longueur du bassin

La longueur du bassin de dissipation s'obtient par l'observation des données de l'abaque du bassin de type 2. Ce qui nous donne les résultats suivants :

Tableau 33 : Calcul de la longueur du bassin de dissipation

Longueur du bassin				
Fr	Y <sub>2</sub>	L/Y <sub>2</sub>	L bassin	L choisi

7,97	1,22	2,6	3,2	3,5
------	------	-----	-----	-----

### Calcul de la revanche du bassin

Tableau 34 : Calcul de la revanche du bassin

<i>Revanche du bassin</i>		
$y_2$	$V_1$	$R_{bassin}$
1,22	8,40	0,96

### Dimensions des blocs Chicanes

En fonction du nombre de Froude  $Fr$ , on détermine le rapport entre la hauteur des blocs chicane et la profondeur  $Y_1$ .

Alors on a 20 cm comme hauteur, ce qui correspond à la hauteur sur le terrain.

### Hauteur du seuil terminal

De manière analogique à la détermination de la hauteur des blocs chicane, la hauteur du seuil est également fonction du rapport entre elle et la profondeur  $Y_1$  en fonction du nombre de Froude (abaque ci-dessous).

Tableau 35 : Calcul de la hauteur du seuil

<i>Hauteur seuil terminal</i>				
$Fr$	$Y_1$	$h_4/Y_1$	$h_4$	$h_4$ choisi
7,97	0,11	2	0,22652	0,25

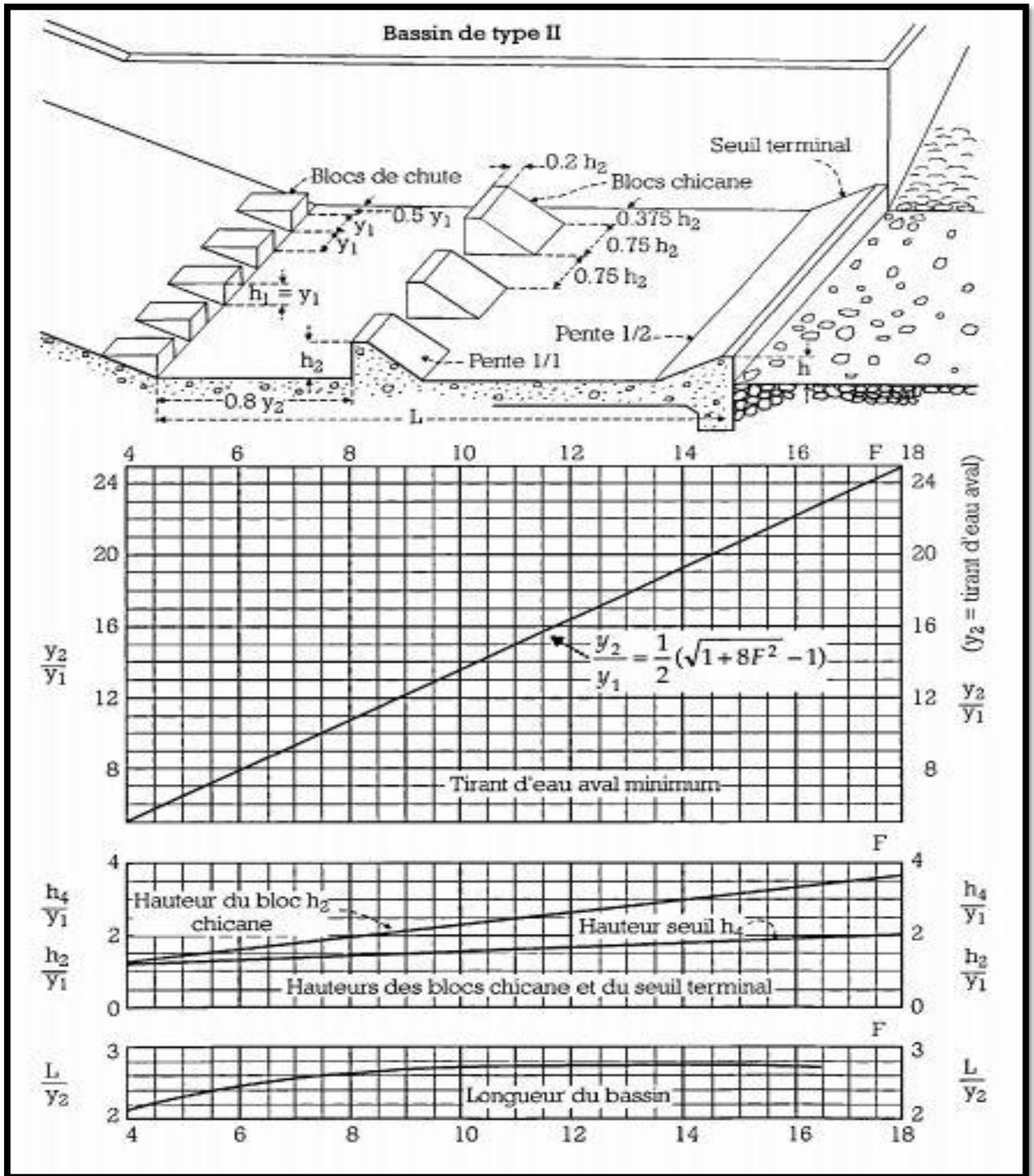


Figure 8 : Abaque de bassin de type II

## Annexe 15 : DIMENSIONNEMENT DE L'EVACUATEUR DE CRUE

## Bilan des forces présentes

- **Les forces horizontales**

- ✚ **La poussée de l'eau**

$$P_{e1} = \gamma_w H h e$$

$$P_{e2} = \frac{1}{2} * \gamma_w * H^2$$

$$P_{ea} = \frac{1}{2} * \gamma_w * h_{av}^2$$

$\gamma_w$  = Poids volumique de l'eau

$H$  =Hauteur du déversoir

$he$  =Lame d'eau déversante

$\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$H$ (m)	$he$ (m)	$h_{av}$ (m)	$P_{e1}$ (kN)	$P_{e2}$ (kN)	$P_{ea}$ (kN)
10	6	1,5	1	90	180	5

- ✚ **La poussée des sédiments**

La poussée des sédiments se traduit par la formule suivante

$$P_T = \frac{1}{2} * \gamma_i * h_i^2 * tg^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right)$$

$\gamma_i$  = Poids volumique immergé des sédiments

$\gamma_i$ (kN/m <sup>3</sup> )	$h_i$ (m)	$\theta$	$P_t$ (kN)
18	2,4	30°	17,28

- **Les forces verticales**

Le poids propre du déversoir

$$P_p = S * \gamma_b$$

$S$  =Section transversale du déversoir

$\gamma_b$  =Le poids volumique du béton (25 kN/m<sup>3</sup>)

Section 1 (m <sup>2</sup> )	Section 2 (m <sup>2</sup> )	Section 3 (m <sup>2</sup> )	Section 4 (m <sup>2</sup> )	Section 5 (m <sup>2</sup> )	$P_p$ (kN)
3,60	18	3,30	0,75	3,6	731,25

**✚ La sous pression**

$$u_1 = \gamma_w * h_1 = 10 * 1 = 10$$

$$u_1 = 10 \text{ kN}$$

$$u_2 = \gamma_w * \left[ h + \frac{2}{3} * (H - h) \right] = 10 * \left[ 1 + \frac{2}{3} * (6 + 1,5 - 1) \right] = 53,33$$

$$u_2 = 53,33 \text{ kN}$$

**a) Stabilité au glissement**

$$F = \frac{C * S + (W - U) * \tan \varphi}{P}$$

C : la cohésion du sol

S= surface de glissement

$\varphi$  = Angle de frottement interne du sol

C (kN/m2)	S (m)	W-U	P	F avec (cohésion)	F (sans cohésion)
18,74	6,60	667,92	282,28	1,54	1,98

Dans les deux cas l'ouvrage est stable au glissement

**b) Stabilité au renversement :**

$$F = \frac{\sum \text{moments stabilisants}}{\sum \text{moments renversants}}$$

$$\sum \text{moments stabilisants}$$

$$= (90 * 6,3 + 450 * 4 + 82,7 * 3,3 + 18,75 * 5,23 + 90 * 6 + 5 * 0,83)$$

$$\sum \text{moments stabilisants} = 3281,54 \text{ kN}$$

$$\sum \text{moments renversants}$$

$$= (90 * 3,5 + 180 * 2,5 + 17,28 * 1,3 + 10 * 3,5 + 53,33 * 4,40 = 1055,13)$$

$$F = \frac{3281,54}{1055,13} = 3,11$$

$$F = 3,11$$

Le déversoir est stable au renversement

**c) La vérification de la stabilité interne**

**✚ Vérifions la règle du tiers central**

$$\frac{-b}{6} \leq e \leq \frac{b}{6}$$

Avec  $b = 6,6 \text{ m}$  , donc

$$-1,10 \leq e \leq 1,10$$

$$e = (X_{\text{Gouv}} + X) - \frac{b}{2}$$

$$X_{\text{Gouv}} = f(\alpha) = \frac{4,5 + \frac{H^2 \tan^2 \alpha}{6} + \frac{3H \tan \alpha}{2}}{3 + \frac{H \tan \alpha}{2}} = \frac{4,5 + \frac{6^2 * \tan^2 \alpha}{6} + \frac{3 * 6 * \tan \alpha}{2}}{3 + \frac{6 * \tan \alpha}{2}} = 3,25$$

$$X_{\text{Gouv}} = 3,25 \text{ m}$$

$$X = Y_{\text{Gouv}} \tan \beta \quad \text{Avec } \beta = \tan^{-1} \left( \frac{Pe}{W - U} \right)$$

$$Y_{\text{Gouv}} = \frac{\sum S_i X_{Gi}}{\sum S_i} = \frac{3,6 * 3 + 18 * 0,7 + 3,30 * 0 + 0,75 * 1,93 + 3,6 * 2,7}{3,6 + 18 + 3,30 + 0,75 + 3,6} = 1,18$$

$$Y_{\text{Gouv}} = 1,18 \text{ m}$$

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{Pe}{W - U} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{275}{731,25 - 63,33} \right) = 0,39^\circ$$

$$\beta = 0,39^\circ$$

donc  $X = 1,18 * \tan 0,39 = 0,49 \text{ m}$

$$X = 0,49 \text{ m}$$

$$e = (X_{\text{Gouv}} + X) - \frac{b}{2} = 3,25 + 0,49 - \frac{6,6}{2} = 0,44 \text{ m}$$

$$e = 0,44 \text{ m}$$

$$-1,10 \leq e = 0,44 \leq 1,10$$

La règle du tiers central est vérifiée

✚ Condition de non rupture

La non rupture est vérifiée si :

$$\delta_{\text{max}} \leq \delta_{\text{lim}} = 0,3f_{c28} \quad \text{avec } \delta_{\text{max}} = \left( \frac{W-U}{b} \right) * \left( 1 + \frac{6e}{b} \right)$$

$$\delta_{\text{max}} = \left( \frac{731,25 - 63,33}{6,6} \right) * \left( 1 + \frac{6 * 0,44}{6,6} \right) = 141,37 \text{ kPa}$$

$$\delta_{\text{max}} = 141,37 \text{ kPa}$$

$$\delta_{\text{lim}} = 0,3f_{c28} = 0,3 * 20 = 6 \text{ Mpa}$$

$$\delta_{\text{lim}} = 6 \text{ Mpa}$$

$$\delta_{\text{max}} = 0,141 \leq \delta_{\text{lim}} = 6$$

La condition de non rupture est respectée

**d) Stabilité au non poinçonnement**

La contrainte admissible du sol  $q_{adm} = \frac{1}{2} * \gamma * N_{\gamma} + C * N_c + \gamma * D * N_q$

Pour  $\varphi = 30^{\circ}$   $N_c = 30,14$ ;  $N_q = 18,40$   $N_{\gamma} = 22,40$

$\gamma = 20 \text{ kN}$ ;  $C = 18,74$

$q_{adm} = 3331,22 \text{ kN/m}^2$

$$\sigma_{ref} = \frac{N}{B} \left( 1 + \frac{6 * e}{B} \right) = \frac{667,92}{6,6} \left( 1 + \frac{6 * 0,44}{6,6} \right) = 141,37$$

$\delta_{ref} = 141,37 \text{ kN/m}^2$

$\delta_{ref} = 141,37 < 3331,22 = q_{adm}$

Nous pouvons conclure que la stabilité au non poinçonnement est vérifié

Bilan des forces	Forces en kN		Bras de levier/A	Moments en kN.m		Bras de levier/G	Moments en kN.m	
	Horizontales	Verticales		stabilité	Renversement		stabilité	Renversement
<b>Poids de l'ouvrage</b>								
W1		90	6,3	567		3	270	
W2		450	4,0	1800		0,7	315,0	
W3		82,5	3,3	272,25		0	0,0	
W4		18,75	5,23	98,1		1,93	36,25	
W5		90	6	540		2,7	243	
<b>Poussée hydrostatique</b>								
Pe1	90		3,5		315	3,5		315,0
Pe2	180		2,5		450	2,5		450,0
Pea	5		0,83	4,17		0,83		4,17
<b>Poussée des sédiments</b>	17,28		1,30		22,464	1,30		22,5
<b>Sous pression</b>								
U1		10,00	3,3		33	0		0
U2		53,33	4,40		234,67	1,10		58,67
Somme des forces Horizontales	<b>282,28</b>							
Somme des forces verticales		<b>667,92</b>						
Somme des Moments stabilisants				<b>3281,54</b>			<b>864,25</b>	
Somme des Moments renversant					<b>1055,13</b>			<b>850,30</b>

## Annexe 16 : Notice d'impact environnemental

## **Notice d'impact environnemental**

Les conséquences de l'aménagement du barrage seront de façon générale moyenne sur le milieu initial étant donnée sa profonde dégradation.

- La nature (ou qualité) indique si l'impact est négatif ou positif
- L'interaction précise si la relation entre le projet et l'impact sera dit direct lorsqu'il est lié aux travaux (ou à l'exploitation) par une relation de cause à effet.
- L'intensité ou l'ampleur est fonction de l'ampleur des modifications sur la composante du milieu touché par une activité du projet ou encore des perturbations qui en découleront. L'intensité d'un impact qualifiée de forte lorsque celui-ci est lié à des modifications très importantes d'une composante. Elle est dite moyenne quand l'impact engendre des perturbations tangibles sur l'utilisation d'une composante ou ses caractéristiques mais pas de manière à les réduire complètement et irréversiblement. Une faible intensité par contre est associée à un impact ne provoquant que de faibles modifications à la composante visée et ne remettant pas en cause son utilisation ou ses caractéristiques.
- L'étendue (ou la portée) donne une idée de la couverture spatiale de l'impact. On a distingué trois classes : ponctuelle, locale, régionale. Elle est dite régionale si l'impact sur la composante est ressenti dans un grand territoire (l'ensemble d'une commune par exemple) ou affecte une grande proportion de sa population. L'entendue est locale si l'impact est ressenti sur une portion limitée de la zone d'étude. L'étendue est ponctuelle lorsque l'impact est ressenti dans un espace réduit et circonscrit à quelques individus.
- La durée indique la manifestation de l'impact avec le temps, on parlera de court terme pour désigner un impact qui se manifeste pendant la mise en œuvre du projet et moins d'un an après ; de long terme lorsque celui-ci se manifeste plus d'un an après la mise œuvre et qui se poursuivent pendant la phase d'exploitation sur plus d'un an ;
- L'importance de la perturbation est fonction de l'ampleur des modifications observées sur la composante du milieu touchée par une activité du projet ou encore des perturbations qui en découleront. En effet, l'évaluation d'un impact vise à déterminer son degré d'importance de la perturbation de l'environnement dans la perspective d'atténuer les impacts les plus préoccupants. Pour y arriver, on affecte à chaque impact associé aux travaux et à la phase d'exploitation, d'entretien des infrastructures d'accompagnement et pour chacun des critères évoqués plus haut, une importance relative (dépendant du jugement de l'expert).

Composante affectée	Impact	Nature	Intensité	Etendue	Durée	Importance	Période
<b>MILIEU BIOPHYSIQUE</b>							
Végétation	Abattage des arbres	N	Faible	Locale	Courte	Mineure	Pendant les travaux Et phase d'exploitation
	Mise en place du merlon arboré Régénération du couvert végétal et croissance de la biodiversité	P	Moyenne	Ponctuelle	Longue	Moyenne	
Faune	Accident	N	Forte	Locale	Longue	Moyenne	
	Perte d'habitat						
Sol	-Tassement	N	Faible	Locale	Courte	Mineure	Pendant les travaux et après les travaux
	-Amélioration de la qualité agronomique	P	Forte	Locale	Longue	Majeure	
	Erosion des sols	N	Moyenne	Locale	Courte	Mineure	
	-Risque de pollution par les Hydrocarbures et déchets solides	N	Moyenne	Ponctuelle	Longue	Moyenne	
Ressources en eau	-Rechargement des nappes	P	Forte	Locale	Courte	Moyenne	Après les travaux
	-Mobilisation des ressources en eau	P	Moyenne	Locale	Courte	Moyenne	
	Altération de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface/ et ou souterraines	N	Faible	Locale	Courte	Mineure	
	Amélioration de l'assainissement pluviale	P	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne	

			ne					
Air Bruit	Soulèvement de poussières et autres gaz toxiques (CO, NO2, SO2, COV,) et pollution sonore	N	Moyenne	Locale	Courte	Moyenne	Pendant les travaux	
	Nuisance sonores	N	Moyenne	Locale	Courte	Moyenne		
Paysage	Fragmentation du paysage	N	Faible	Locale	Longue	Mineure	Après les travaux	
<b>MILIEU HUMAIN</b>								
Santé et sécurité	Risques de contamination aux IST/VIH/SIDA	N	Faible	Locale	Courte	Mineure	Pendant les travaux	
	Emergence ou aggravation des maladies respiratoires (asthme, toux, rhinite ...) et ophtalmologiques (conjonctivite)	N	Faible	Locale	Courte	Mineure		

	Risques d'accidents	N	Faible	Locale	Courte	Mineur	
Economie et emploi	Création d'emploi	P	Moyenne	Locale	Longue	Majeur	Pendant et après les travaux
	Réduction de la pauvreté et amélioration des conditions de vie	P	Forte	Régionale	Longue	Majeur	
	Amélioration des rendements agro sylvo pastoraux	P	Forte	Locale	Longue	Majeur	

	Perte de revenu due à l'expropriation des terres cultivables	<b>N</b>	Faible	Locale	Courte	Mineur	Pendant les travaux
Population	Augmentation des risques de conflits éleveurs-agriculteurs et/ou entre exploitants	<b>N</b>	Faible	Locale	Courte	Mineur	Après les travaux
	Renforcement de la cohésion sociale	<b>P</b>	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne	
Patrimoine culturel	Risque de profanation de tombes	<b>N</b>	Faible	Locale	Courte	Mineur	Pendant les travaux

### Récapitulatif des mesures d'atténuation pour le milieu biophysique

Composantes du milieu	Impacts potentiels	Mesures d'atténuations
<b>Végétation</b>	Déboisement	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Restaurer la végétation à la fin des travaux</li> <li>-Remettre en état les emprunts par reboisement avec des espèces locales</li> <li>-Valoriser le bois coupé</li> <li>-Eloigner les équipements de la végétation</li> <li>-Plantation d'arbre moins consommatrice d'eau autour du barrage et du périmètre maraicher pour limiter l'évapotranspiration</li> <li>-réhabilitation du jardin potager des prêtres du petit séminaire</li> </ul>
<b>Sol</b>	Risques d'érosion et de pollution	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mise en place de mesures anti érosives</li> <li>-Proscrire l'implantation d'installations de chantier dans les zones boisées</li> <li>-Favoriser l'utilisation de banc d'emprunt existant</li> <li>-Maintenir les véhicules de transport et la machinerie en bon état de fonctionnement afin d'éviter les fuites d'huiles, de carburant.</li> <li>-Sensibilisation des exploitants sur la gestion durable des sols</li> </ul>
<b>Ressources en eaux</b>	Qualité et disponibilité des eaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ouverture des zones d'emprunt à plus de 2km des habitations et à plus de 50m des plans d'eaux</li> <li>-Réalisation de puits maraichers et forages</li> <li>-construction d'un château d'eau au profit du petit séminaire (doléance des autorités du séminaire)</li> <li>-</li> </ul>
<b>Air et paysage</b>	Nuisance sonore et Pollution de l'air  Artificialisation du paysage et dégradation du cadre de vie	<ul style="list-style-type: none"> <li>-limitation des vitesses des engins du chantier afin de réduire les soulèvements de poussières</li> <li>-Dans la mesure du possible, localiser les équipements fixes loin des endroits sensibles (Dispensaire, écoles...) au bruit ou de manière à réduire l'impact causé sur le niveau sonore ambiant</li> <li>-Contrôle rigoureux de l'état des engins du chantier</li> <li>- Mise en place de merlon arboré de plante autour du barrage et du périmètre maraicher qui sera aménagé</li> </ul>

**Récapitulatif des mesures d'atténuation pour le milieu socio-économique.**

Composante du milieu	Impacts potentiels	Mesures d'atténuations
<b>Santé et sécurité</b>	Risques d'infections sexuellement transmissibles (IST) VIH/SIDA et maladies des yeux	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sensibilisation des ouvriers et la population de Saale contre les IST et le SIDA et la dengue</li> <li>-Respect et le contrôle rigoureux des conditions d'hygiène sur le chantier</li> <li>-Fourniture de préservatifs gratuits aux ouvriers</li> <li>-Installation de panneaux de signalisation et de renseignement</li> <li>-Port obligatoire des tenues de sécurité (pour les ouvriers), de casques ou de cache-nez pour les usagers</li> <li>- Construction de deux latrines ECOSAN</li> </ul>
	Sécurité des populations et du bétail et risques d'accidents	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Signalisation et limitation de vitesse avec des avertisseurs (ralentisseur) à l'entrée du village et aux endroits critiques ;</li> <li>-Sensibilisation des villageois (par des panneaux) aux dangers de circulation</li> <li>-Clôture et le gardiennage des bases vie, des zones d'extraction et des parcs de matériel</li> <li>-Aménagement d'une zone pâturage pour le bétail</li> <li>-la pente des talus ne devrait pas excéder 25% afin de permettre un accès aisé au plan d'eau lors de l'abaissement de son niveau et de garantir la sécurité des personnes et des enfants en particulier</li> <li>-la stabilisation des berges par des techniques végétales ou de moellons afin de limiter les éboulements et surtout leur érosion ;</li> <li>-Diminution des risques d'inondation</li> <li>-agrandissement de la digue qui constitue le passage reliant le petit séminaire aux villages environnant ;</li> <li>-sécurisation des digues avec de balise de protection en béton armé</li> </ul>

<p><b>Emploi et économie</b></p>	<p>Création d'emplois temporaires et permanents</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Favoriser l'embauche locale lors des travaux et la sous-traitance aux entreprises locales (extraction de sable, petits ouvrages).</li> <li>-Respecter l'âge minimal et éviter les travaux dangereux ou nécessitant un effort considérable pour les femmes</li> <li>-Soutien aux activités de production agricole et maraîchères</li> <li>-Compensation des vergers et des superficies cultivables qui seront affectée</li> </ul>
<p><b>Population et patrimoine culturel</b></p>	<p>Cohésion sociale, amélioration des conditions de vie et renforcement des capacités</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aide à la mise en place de comité gestion du barrage</li> <li>-Formation sur les techniques de production et de gestion agricole et maraîchères</li> <li>-Organisation de voyage d'étude sur des sites école réussi</li> <li>-relocalisation de sept concessions situées dans le domaine du petit séminaire et le lit mineur du barrage ;</li> <li>-Appui conseil et assistance et organisation des exploitants en coopératives</li> <li>-sacrifice avant le démarrage des travaux</li> </ul>

ANNEXE 17 : Devis global du projet

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
<b>I</b>	<b>Amenée et repli du matériel, installations du chantier</b>				
1	Amenée et repli du matériel	ff	1,00	6 500 000	6 500 000
2	Installations du chantier	ff	1,00	6 500 000	6 500 000
	<b>Sous Total I</b>				<b>13 000 000</b>
<b>II</b>	<b>Tranchée d'ancrage et fondation</b>				
1	Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	5 616,25	4 000	22 464 999
2	Remblai argileux compacté aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	5 616,25	5 000	28 081 249
	<b>Sous Total II</b>				<b>50 546 248</b>
<b>III</b>	<b>Digue</b>				
1	Débroussaillage-décapage de l'emprise de la digue y compris abattage d'arbres et arbustes	m <sup>2</sup>	5 745,31	300	1 723 593
2	Déblai aux engins pour drain aval et butée amont	m3	495,65	4 000	1 982 595
3	Déblai en redan	m3	469,89	4 500	2 114 488
4	Déblai à la main à travers remblai pour mur de crête amont et aval déblai redan	m3	458,16	4 500	2 061 698
5	Remblai argileux compacté aux engins pour digue (remblai talus et redan)	m3	3 117,60	5 000	15 587 983
6	Couche de couronnement latéritique pour crête	m3	641,42	4 000	2 565 668
7	Couche de pose sur les talus amont et aval	m3	393,07	4 000	1 572 270
8	Perré sec sur les talus amont et aval	m <sup>2</sup>	3 930,67	6 000	23 584 044
9	Perré maçonné sur le talus amont sur 10 m de part et d'autre du déversoir	m <sup>2</sup>	139,37	15 000	2 090 501
10	Enrochement rangé à la main pour butée et drain	m3	495,65	10 000	4 956 488
11	Maçonnerie de moellons pour mur de crête amont et aval	m3	687,23	55 000	37 797 788
12	Dépose de perré et couche de pose sur talus amont	ff	1,00	3 500 000	3 500 000
13	Débroussaillage et rangement du perré sec aval	ff	1,00	2 500 000	2 500 000
14	Débroussaillage et rangement du perré aval et réfection perré maçonné amont des diguettes de protection	ff	1,00	4 500 000	4 500 000
	<b>Sous total III</b>				<b>106 537 114</b>
<b>IV</b>	<b>Déversoir Trapézoïdale</b>				
1	Déblai à la main pour butée du talus amont et	m3	72,34	4 000	289 340

	<i>bèche du talus aval</i>				
2	<i>Béton de propreté à 150kg/m<sup>3</sup> y compris coffrage</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>19,13</i>	<i>70 000</i>	<i>1 338 750</i>
3	<i>Béton armé à 350kg/m<sup>3</sup> y compris coffrage</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>1829,27</i>	<i>160 000</i>	<i>292 548 000</i>
4	<i>Béton ordinaire à 250kg/m<sup>3</sup> pour bassin dissipation y compris coffrage</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>55,87</i>	<i>175 000</i>	<i>9 777 619</i>
5	<i>Joints bitumineux</i>	<i>m</i>	<i>504,90</i>	<i>2 000</i>	<i>1 009 800</i>
6	<i>Tuyau PVC D50 pour barbacanes du bassin de dissipation et éjecteurs du talus aval</i>	<i>m</i>	<i>191,15</i>	<i>2 500</i>	<i>477 886</i>
7	<i>Fourniture et pose de gabions métalliques posés 2*1*0,50 y compris déblai conformément aux plans</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>255,00</i>	<i>30 000</i>	<i>7 650 000</i>
8	<i>Béton ordinaire dosé à 300 kg/m<sup>3</sup> pour protection des balises en IPN</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>10,79</i>	<i>120 000</i>	<i>1 295 360</i>
9	<i>Balises en béton armé dosé à 350 kg/m<sup>3</sup> H=1,50 m D=200 mm</i>	<i>u</i>	<i>4,00</i>	<i>15 000</i>	<i>60 000</i>
10	<i>Balises en IPN100 et tube galva de 1,50 m de hauteur à tous les 3 m et accessoires de fixation, peints en rouge et blanc</i>	<i>m</i>	<i>253,00</i>	<i>10 000</i>	<i>2 530 000</i>
11	<i>Gardes fous métalliques en tubes galva D50 soudés aux balises en IPN 100 peints en rouge et blanc</i>	<i>m</i>	<i>1 000,00</i>	<i>10 000</i>	<i>10 000 000</i>
	<b>Sous total IV</b>				<b>398 271 000</b>
<b>V</b>	<b>Signalisation et sécurisation du radier routier du déversoir</b>				
1	<i>Béton ordinaire pour protection des balises IPN</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>10,79</i>	<i>120 000</i>	<i>1 295 360</i>
2	<i>Balise en béton armé H=1,50 m D=200 mm (à l'entrée et à la sortie du déversoir)</i>	<i>U</i>	<i>4,00</i>	<i>15 000</i>	<i>60 000</i>
3	<i>Balises IPN100 en tube galva de 1,50 m de hauteur à tous les 3 m et accessoires de fixation, peints en rouge et blanc</i>	<i>ml</i>	<i>253,00</i>	<i>10 000</i>	<i>2 530 000</i>
4	<i>Gardes fous métalliques en tubes galva D50 soudés aux balises en IPN 100 et peints en rouge et blanc</i>	<i>ml</i>	<i>1 000,00</i>	<i>6 000</i>	<i>6 000 000</i>
	<b>Sous total V</b>				<b>9 885 360</b>
<b>VII</b>	<b>Ouvrage de prise et de vidange</b>				
1	<i>Déblai à la main en terre meuble pour bac amont, enrochement autour du bac amont et plateforme</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>11,64</i>	<i>4 500</i>	<i>52 364</i>
2	<i>Enrochements rangés à la main autour du bac amont et plateforme (ép.: 0,25)</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>4,78</i>	<i>10 000</i>	<i>47 775</i>
3	<i>Maçonnerie de moellons pour escaliers d'accès</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>4,20</i>	<i>55 000</i>	<i>230 899</i>
4	<i>Béton de propreté dosé à 150 kg/m<sup>3</sup> pour bac amont</i>	<i>m<sup>3</sup></i>	<i>0,36</i>	<i>70 000</i>	<i>25 270</i>

6	Béton armé vibré dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> coulé à plat pour bac y compris coffrages et ferrillages	m <sup>3</sup>	0,72	150 000	108 300
7	Béton armé vibré dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> coulé en élévation pour bac amont y compris coffrages et ferrillages	m <sup>3</sup>	2,41	160 000	386 080
8	Echelle de descente en fer T12 dans les bac amont	u	1,00	50 000	50 000
9	Grille de protection des bacs amont et aval en fer HA 12 avec cadenas	u	2,00	100 000	200 000
10	Conduite en fonte D 300 et accessoires	m	0,00	200 000	0
11	Robinet vanne DN 300 et accessoires	u	0,00	2 000 000	0
12	Crépine DN 300 et accessoires (de fabrication locale)	u	0,00	50 000	0
	<b>Sous total VII</b>				<b>1 100 688</b>
<b>VIII</b>	<b>Dispositif d'auscultation du barrage</b>				
1	Echelle limnimétrique par unité de 1 m fabriquée en usine	m	6,00	100 000	600 000
	<b>Sous total VIII</b>				<b>600 000</b>
<b>IX</b>	<b>Bornage de la cuvette dans les limites de PHE</b>				
1	Bornage de la limite du périmètre des Plus Hautes Eaux (PHE=314,75) avec des balises parallélépipédiques en béton légèrement armé dosé à 300 kg/m <sup>3</sup> , de base 30x30 cm, hauteur totale 150 cm ancrées de 50 cm dans le sol (hauteur hors sol : 100 cm) et de sommet 20cmx20cm, peints en rouge et blanc, disposées à tous les 50 m et aux points singuliers sur le périmètre du PHE. Ce prix comprend : - les levés topographiques et la délimitation du périmètre des PHE ; - la confection et la pose des bornes ; - l'application de la peinture à huile (blanche sur 80 cm et rouge sur 20 cm) ; - l'élaboration des plans de bornage ; - l'information des riverains ; - toutes suggestions comprises	FF	1	8 000 000	8 000 000
	<b>Sous total IX</b>				<b>8 000 000</b>
	<b>TOTAL GENERAL HT</b>				<b>557 180 219</b>
	<b>TVA 18%</b>				<b>100292439,42</b>
	<b>TOTAL GENERAL TTC</b>				<b>657472658,42</b>

ANNEXE 18 : Plans

Profil en travers type de la digue

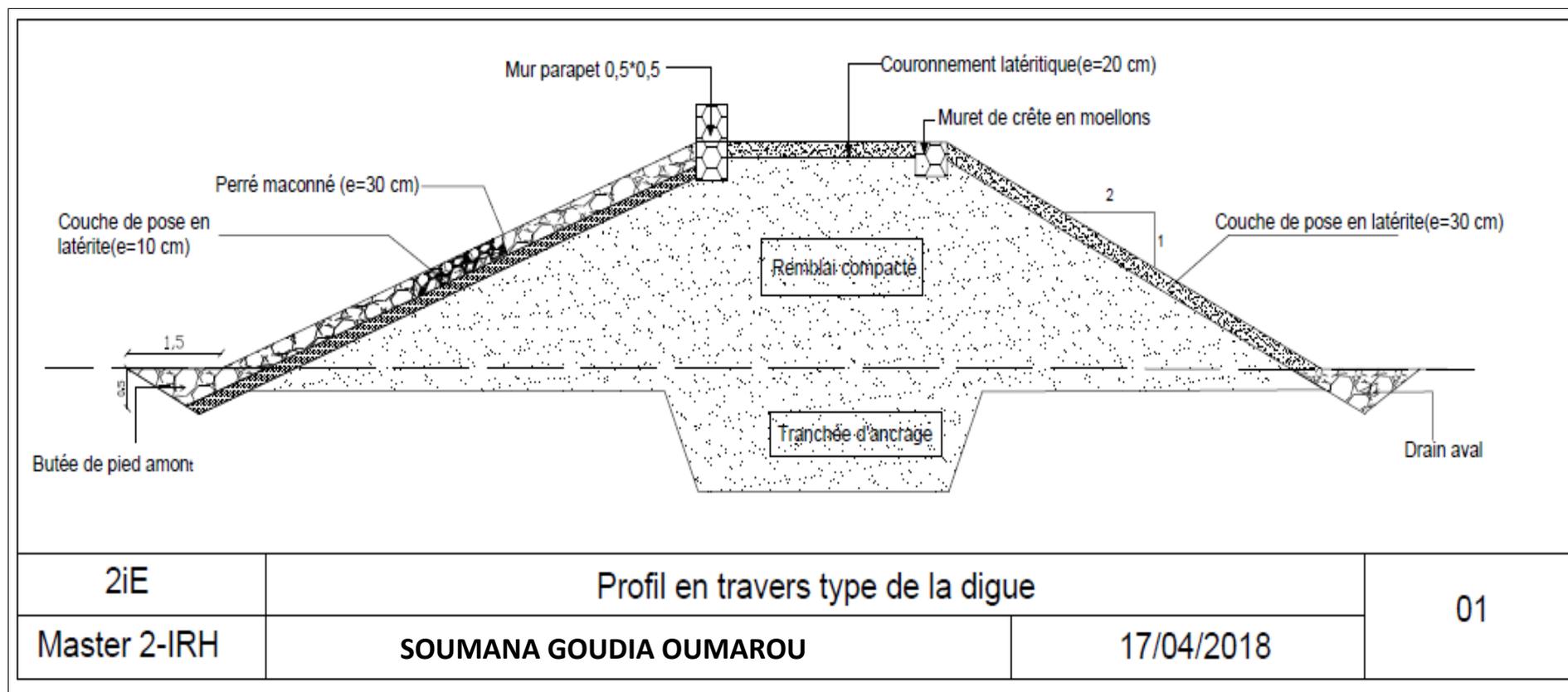


Figure 14: Profil en travers de la digue

Type d'écoulement dans la digue

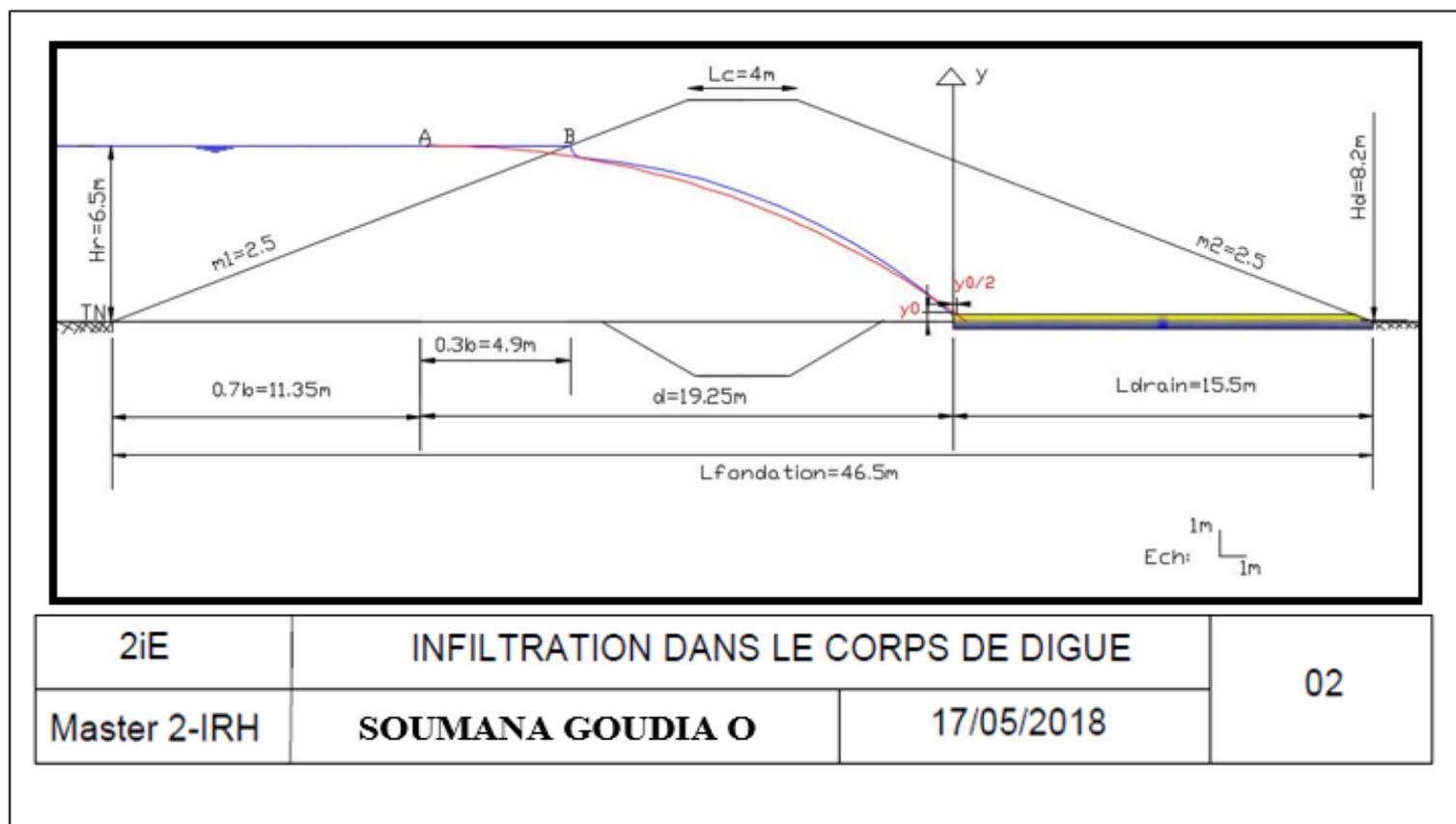


Figure 15: Ecoulement dans la digue

### Bassin de dissipation

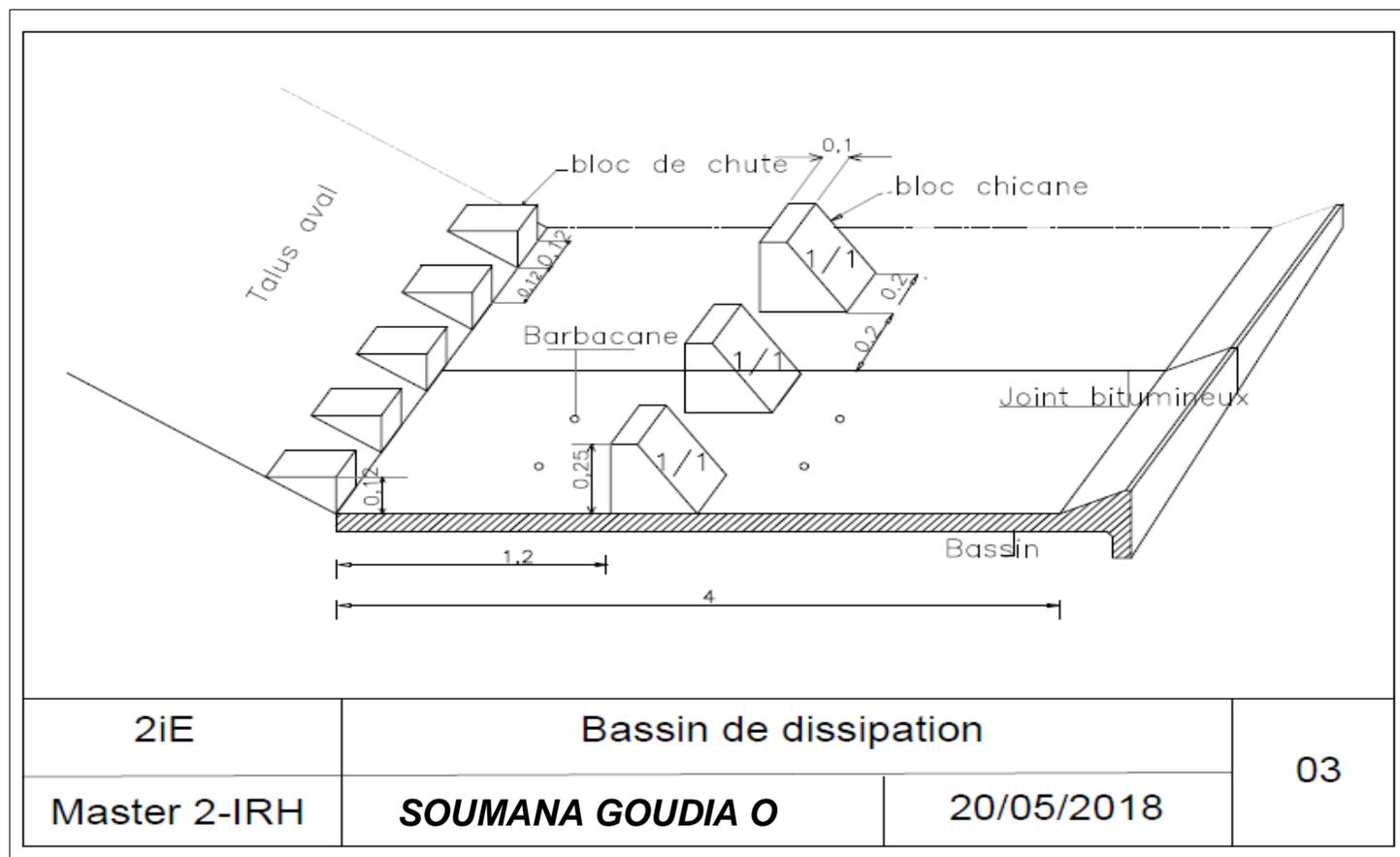


Figure 16: Bassin de dissipation

Profil en travers de l'évacuateur de crue

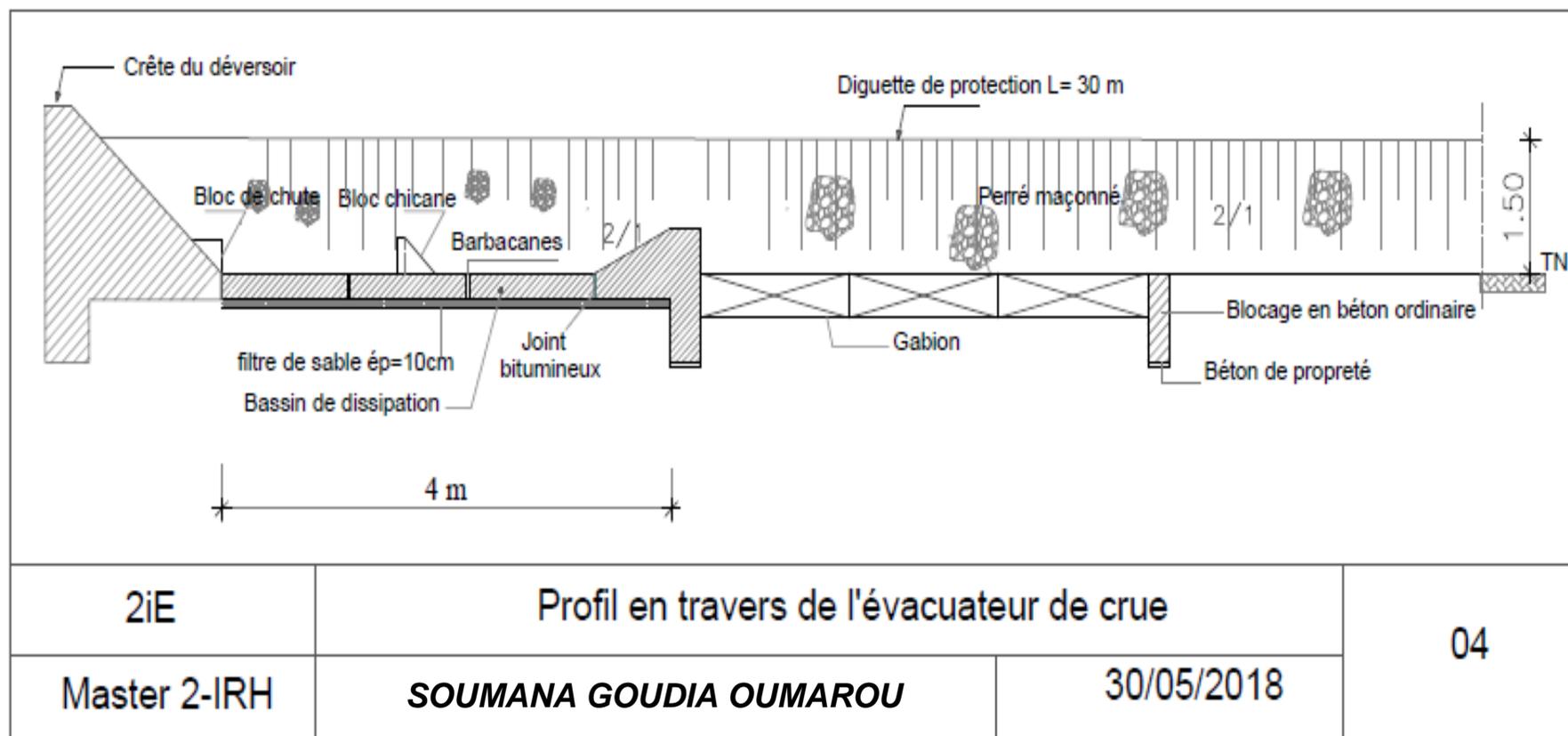


Figure 17: Profil en travers de l'évacuateur de crue