



**ETUDES TECHNIQUES DU BARRAGE DE TAMPOUY-YARCE,  
COMMUNE DE ZITENGA, REGION DU PLATEAU CENTRAL, AU  
BURKINA FASO**

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

**SPECIALITE : GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE**

**OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 20 janvier 2020 par :

**Ousseni OUEDRAOGO (2016 0018)**

**Directeur de Mémoire : Moussa LO, Enseignant GCH, 2iE**

**Maître de Stage : Aley SAOUTO, Ingénieur du Génie Rural, DGIH**

**Structure d'accueil du Stage : Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH)**

Jury d'évaluation du Mémoire :

Président : **Dr Dial NIANG**

Membres et Correcteurs : **Dr Vivien Chaim DOTO  
M. Célestin OVONO MEZUI**

**Promotion [2019/2020]**

## DEDICACES

Je dédie ce document à :

- Mes regrettés grands-parents maternels El Adj Saïdou OUEDRAOGO et SAWADOGO Alizèta partis très tôt mais qui demeurent toujours dans mon cœur ;
- Mes parents OUEDRAOGO Tiégba Ousmane et OUEDRAOGO Haoua, mes frères et sœurs pour toutes ces années d’efforts, de sacrifices de prières, de conseils et d’attention particulière à mon égard. Que Dieu leur accorde une très longue vie pleine de santé ;
- A toute ma famille maternelle et paternelle ;
- A tous mes amis qui m’ont soutenu sans relâche.

## CITATIONS

L'imagination est plus importante que le savoir.

Albert Einstein

Le bonheur, c'est savoir ce que l'on veut et le vouloir passionnément.

Félicien Marceau

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce cycle de formation en Master Génie Civil et Hydraulique, je voudrais traduire toute ma reconnaissance à toutes les personnes qui à un titre ou un autre, m'ont apporté leur soutien combien inestimable pour que ce travail se réalise.

Je tiens particulièrement à manifester ma gratitude à Allah, le maître des circonstances pour toutes les grâces reçues et son amour infini. Mes remerciements vont à l'endroit de :

- Monsieur le Directeur Général de la fondation 2iE pour son sens de responsabilité, et sa détermination pour la bonne marche et le rayonnement de 2iE. Au cours de ces trois années d'étude au sein de 2iE, nous estimons avoir bénéficié d'une excellente formation tant sur les plans scientifique et professionnel que moral. Des valeurs comme la curiosité intellectuelle, la persévérance, la rigueur scientifique, l'esprit d'équipe, l'amour du travail bien fait et l'esprit d'entrepreneuriat nous ont été inculquées ;
- Monsieur Moussa LO, Enseignant au Département Génie Civil et Hydraulique (GCH), mon Directeur de mémoire 2iE, pour sa disponibilité et toutes les orientations qui nous ont permis de mener à bien ce travail ;
- Monsieur le Directeur Général des Infrastructures Hydrauliques (DGIH) qui a bien voulu nous accepter au sein de sa structure pour le stage et nous faciliter l'accès aux données nécessaires pour l'étude ;
- Monsieur YE OUEBABENI Ernest, directeur des études et des travaux et monsieur SEGDA Koudougou Achille, directeur des opérations de maintenances des ouvrages hydrauliques pour avoir nous réservé un accueil chaleureux et facilité le déroulement du stage à la DGIH ;
- Monsieur Martin TANGA Chef de Service Suivi et Exploitation à la DGIH pour sa disponibilité constante dans les conseils et l'appui technique à notre endroit ;
- Monsieur Aley SAOUTO, notre maître de stage, pour sa disponibilité, l'appui technique nécessaire dont nous avons bénéficié tout au long du stage.

Je formule également de vifs remerciements :

- à l'endroit du personnel de la DGIH et de celui de 2iE pour avoir créé un cadre propice à l'apprentissage dans lequel j'ai eu l'opportunité d'évoluer.
- à tous ceux qui de près ou de loin ont œuvré pour l'aboutissement de ce travail et de notre formation.

## RESUME

La réalisation du projet « Etudes techniques du barrage de Tampouy-Yarcé, commune de Zitenga, Région du Plateau Central, au Burkina Faso » est la résultante d'une volonté politique de mobiliser l'eau pour satisfaire les besoins des populations en milieu rural. Le présent document qui traite de ces études techniques entre dans le cadre de notre mémoire de fin de cycle de master d'ingénierie 2iE.

Après avoir caractérisé le bassin versant à l'aide de modèle numérique de terrain sur ArcGIS, nous avons utilisé les méthodes empiriques d'ORSTOM et de CIEH pour l'étude hydrologique. La conception et le dimensionnement ont été faits grâce aux outils de dessin assistés à l'ordinateur et quelques hypothèses compte tenue de l'insuffisance de certaines données.

Le barrage sera alimenté par un bassin versant de 54,24 km<sup>2</sup> dont les apports en année décennale sèche sont estimés à 2 608 249 m<sup>3</sup>. La digue en terre homogène argileuse présente une largeur en crête de 4 m, une hauteur maximale de 7 m et une pente des talus amont et aval de 2H/1V. Elle a une longueur de 1490 m y compris le déversoir et sa crête est calée à la côte 288 m.

Le déversoir de 160 m de long occupe une position frontale. Il est de type poids et conçu pour évacuer un débit de 197,77 m<sup>3</sup>/s. Il est calé à la côte 286,25 m et sa hauteur maximale est de 5,25 m. La capacité de la retenue à cette côte est de 1 500 000 m<sup>3</sup>. Le bassin de dissipation à ressaut sera de type II avec une longueur de 4,50 m. Une prise d'eau d'une conduite en fonte de diamètre nominale 400 mm permettra d'assurer l'irrigation de 20 ha.

Le coût de réalisation du barrage est estimé à Un-Milliard-Huit-Cents-Six-Millions-Six-Cents-Cinquante-Cinq-Mille-Trois-Cents Quatre-Vingt-Seize francs (1 806 655 396) FCFA.

### Mots Clés :

- 1 – Barrage**
- 2 – Conception et dimensionnement**
- 3 – Etudes techniques**
- 4 – Satisfaction des besoins en eau**
- 5 – Tampouy-Yarcé**

## ABSTRACT

The realization of the project "Technical studies for Tampouy-Yarcé dam construction, Zitenga commune, Central Plateau Region in Burkina Faso" is the result of a political will to mobilize water for the vital needs of rural populations. This document, which deals with these technical studies, was worked out on the occasion of our thesis for master in civil engineering at 2iE.

After characterizing the watershed by using a digital elevation model on ArcGIS, we used the empirical methods of ORSTOM and CIEH for the hydrological study. The design and sizing were done with computer-assisted drawing tools and some assumptions given the insufficiency of certain data.

The dam will be supplied by a 54.24 km<sup>2</sup> catchment area, the contributions of which in a dry ten-year period are estimated at 2,608,249 m<sup>3</sup>. The dike in homogeneous clay soil has a crest width of 4 m, a maximum height of 7 m and a slope of the upstream and downstream slopes of 2H /1V. It has a length of 1490 m including the weir and its crest is wedged at the coast 288 m.

The spillway 160 m long, occupies a frontal position. It is weir weight type and was designed to evacuate a flow of 197.77 m<sup>3</sup>/s. It is stalled at the coast 286.25 m and its maximum height is 5.25 m. The capacity of the reservoir at this coast is estimated at about 1,500,000 m<sup>3</sup>.

Downstream of the spillway, a Type II USBR surge tank with a length of 4.50 m will be constructed. A water intake of cast iron pipe with a nominal diameter DN400 mm will ensure the irrigation of the 20 ha whose will be developed.

The construction cost of the dam is estimated at one billion eight hundred and-six million six hundred and fifty-five thousand three hundred and ninety-six (**1 806 655 396 FCFA**).

### Key words:

- 1 – Dam**
- 2 - Design and sizing**
- 3 – Technical studies**
- 4 - Tampouy-Yarcé**
- 5 – Water requirements fulfilment**

## LISTE DES ABREVIATIONS

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>2iE</b>             | : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement   |
| <b>AGETEER</b>         | Agence d'Exécution des Travaux d'Eau et de l'Equipement Rural          |
| <b>AGHI</b>            | : Bureau d'étude Aménagement, Génie civil, Hydraulique et Informatique |
| <b>APD</b>             | : Avant-Projet Détaillé  |
| <b>APS</b>             | : Avant-Projet Sommaire  |
| <b>BB</b>              | : Besoins Bruts  |
| <b>BN</b>              | : Besoins Nets   |
| <b>CIEH</b>            | : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques                           |
| <b>CIGB</b>            | : Comité International de Grands Barrages                              |
| <b>D<sub>d</sub></b>   | : Densité de drainage  |
| <b>DGIH</b>            | : Direction Général des Infrastructures Hydrauliques                   |
| <b>DREA</b>            | Direction Régionale de l'Eau et de l'Assainissement                    |
| <b>D<sub>s</sub></b>   | : Dénivelé Spécifique  |
| <b>EIER</b>            | : Ecole Inter-Etats d'Ingénieur de l'Equipement Rural                  |
| <b>ETM</b>             | : Evapotranspiration Maximale  |
| <b>ETP</b>             | : Evapotranspiration Potentielle                                       |
| <b>FAO</b>             | Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture             |
| <b>GPS</b>             | : Global Positioning System  |
| <b>Gradex</b>          | : Gradient Exponentiel   |
| <b>Ha</b>              | Hectare  |
| <b>I<sub>g</sub></b>   | : Indice global de pente   |
| <b>I<sub>moy</sub></b> | : Pente moyenne  |
| <b>IT</b>              | : Pente transversale   |
| <b>K<sub>c</sub></b>   | : Coefficient cultural   |
| <b>K<sub>G</sub></b>   | : Coefficient de GRAVELUS ou Indice de compacité                       |
| <b>MEA</b>             | : Ministère de l'Eau et de l'Assainissement                            |
| <b>NASA</b>            | National Aeronautics and Space Administration                          |
| <b>ORSTOM</b>          | : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer           |
| <b>P<sub>e</sub></b>   | : Pluie efficace   |
| <b>RI</b>              | : Relativement Imperméable   |
| <b>TdR</b>             | : Termes de Références   |
| <b>TN</b>              | : Terrain Naturel  |

## SOMMAIRE

|   |            |
|---|------------|
| <b>DEDICACES</b> .....  | <b>i</b>   |
| <b>CITATIONS</b> .....  | <b>ii</b>  |
| <b>REMERCIEMENTS</b> .....  | <b>iii</b> |
| <b>RESUME</b> .....   | <b>iv</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>v</b>   |
| <b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....                                       | <b>vi</b>  |
| <b>SOMMAIRE</b> .....   | <b>1</b>   |
| <b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....   | <b>3</b>   |
| <b>LISTE DES FIGURES</b> .....  | <b>4</b>   |
| <b>FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE TAMPOUY-YARCE</b> .....                  | <b>5</b>   |
| <b>INTRODUCTION</b> .....   | <b>7</b>   |
| <b>I. PRESENTATION DU PROJET</b> .....                                    | <b>8</b>   |
| <b>1.1. Contexte et justification</b> .....                               | <b>8</b>   |
| <b>1.2. Objectifs de l'étude</b> .....                                    | <b>9</b>   |
| 1.2.1. Objectif général.....  | 9          |
| 1.2.2. Objectifs spécifiques.....   | 9          |
| <b>1.3. Résultats attendus</b> .....                                      | <b>9</b>   |
| <b>II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL</b> .....                   | <b>10</b>  |
| <b>III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</b> .....                         | <b>12</b>  |
| <b>3.1. Localisation et accès au site</b> .....                           | <b>12</b>  |
| <b>3.2. Caractéristiques du milieu physique</b> .....                     | <b>12</b>  |
| <b>IV. MATERIELS ET METHODOLOGIE DE CONCEPTION</b> .....                  | <b>14</b>  |
| <b>4.1. Matériel</b> .....  | <b>14</b>  |
| <b>4.2. Méthodologie</b> .....  | <b>14</b>  |
| 4.2.1. Reconnaissance du site.....  | 14         |
| 4.2.2. Recherche documentaire.....  | 15         |
| 4.2.3. Collecte des données topographiques.....                           | 15         |
| 4.2.4. Etudes topographiques et géotechniques.....                        | 15         |
| 4.2.5. Analyse des données pluviométriques.....                           | 16         |
| 4.2.6. Etudes hydrologiques.....  | 17         |
| 4.2.7. Etude de la cuvette.....   | 28         |
| 4.2.8. Evacuateur de crue.....  | 32         |
| 4.2.9. Conception générale du barrage.....                                | 39         |
| 4.2.10. Murs bajoyers.....  | 43         |
| 4.2.11. Ouvrage de prise et de vidange.....                               | 43         |
| 4.2.12. Disposition d'auscultation et surveillance du barrage.....        | 43         |
| 4.2.13. Notice d'impacts environnementaux et sociaux.....                 | 43         |
| 4.2.14. Devis estimatif et quantitatif de la construction du barrage..... | 43         |
| <b>V. RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....                                   | <b>44</b>  |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5.1. Études topographiques et géotechniques .....</b>                       | <b>44</b> |
| 5.1.1. Études topographiques .....   | 44        |
| 5.1.2. Etudes géotechniques .....  | 44        |
| <b>5.2. Analyses des données pluviométriques .....</b>                         | <b>45</b> |
| <b>5.3. Études hydrologiques.....</b>  | <b>47</b> |
| 5.3.1. Caractéristiques du bassin versant.....                                 | 47        |
| 5.3.2. Courbe Hypsométrique .....  | 48        |
| 5.3.3. Autres Paramètres .....   | 49        |
| 5.3.4. Période de retour .....   | 49        |
| 5.3.5. Crue de projet.....   | 50        |
| 5.3.6. Hydrogramme de crue.....  | 50        |
| 5.3.7. Crue de sécurité.....   | 51        |
| 5.3.8. Crue de rupture.....  | 51        |
| 5.3.9. Apports d'eau du bassin versant.....                                    | 51        |
| <b>5.4. Étude de la cuvette .....</b>  | <b>52</b> |
| 5.4.1. Estimation des besoins .....  | 52        |
| 5.4.2. Estimation des pertes.....  | 52        |
| 5.4.3. Courbe Hauteur Volume et surface .....                                  | 54        |
| 5.4.4. Plan d'Eau Normal (PEN) et des Plus Hautes Eaux.....                    | 54        |
| 5.4.5. Courbe d'exploitation.....  | 55        |
| <b>5.5. Conception générale et dimensionnement du barrage .....</b>            | <b>56</b> |
| 5.5.1. Conception de la digue.....   | 56        |
| 5.5.2. Stabilité de la digue.....  | 57        |
| <b>5.6. Évacuateur de crue .....</b>   | <b>57</b> |
| 5.6.1. Laminage des crues .....  | 57        |
| 5.6.2. Conception du déversoir.....  | 58        |
| 5.6.3. Stabilité du déversoir.....   | 58        |
| <b>5.7. Bassin de dissipation et chenal d'évacuation.....</b>                  | <b>59</b> |
| <b>5.8. Protection du chenal .....</b>   | <b>59</b> |
| <b>5.9. Ouvrage de prise et de vidange de fond .....</b>                       | <b>60</b> |
| <b>5.10. Jonction digue déversoir.....</b>                                     | <b>60</b> |
| <b>5.11. Dispositif d'auscultation et surveillance du barrage.....</b>         | <b>61</b> |
| <b>5.12. Notice d'impacts environnementaux et sociaux .....</b>                | <b>61</b> |
| <b>5.13. Devis estimatif et quantitatif de la construction du barrage.....</b> | <b>61</b> |
| <b>VI. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....</b>                                  | <b>62</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>Annexes.....</b>  | <b>64</b> |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1: Indice de pente .....   | 18 |
| Tableau 2: Perméabilité des sols selon la classification de Rodier et Auvrey .....         | 18 |
| Tableau 3: Classe du relief en selon la valeur de $D_s$ .....                              | 20 |
| Tableau 4 : Equation de détermination de $K_{r10}$ par la méthode de PUECH.....            | 21 |
| Tableau 5: Période de retour .....   | 22 |
| Tableau 6 : Equations de régression linéaire utilisables pour le Burkina .....             | 25 |
| Tableau 7 : Formules empiriques pour l'estimation des dépôts solides .....                 | 31 |
| Tableau 8 : Détermination de la largeur en crête de la digue.....                          | 40 |
| Tableau 9 : Détermination de la revanche libre sur le déversoir.....                       | 40 |
| Tableau 10: Fruit indicatif des talus des barrages stables .....                           | 40 |
| Tableau 11: Valeurs de $D_{50}$ en fonction de la hauteur des vagues.....                  | 42 |
| Tableau 12 : Données topographiques de la cuvette .....                                    | 44 |
| Tableau 13 : Caractéristiques des données pluviométriques de la station de Ouagadougou ... | 45 |
| Tableau 14 : Synthèse des pluies annuelles et journalières maximales de Ouagadougou .....  | 47 |
| Tableau 15: Autres caractéristiques du bassin versant.....                                 | 49 |
| Tableau 16: Débit de projet par la méthode ORSTOM et CIEH .....                            | 50 |
| Tableau 17 : Détermination de la crue de sécurité par la théorie du Gradex .....           | 51 |
| Tableau 18 : Apports d'eau annuels du bassin versant .....                                 | 51 |
| Tableau 19: Estimation des besoins en eau .....  | 52 |
| Tableau 20 : Evaluation des pertes par infiltration et évaporation.....                    | 53 |
| Tableau 21: Pertes par dépôts solides .....  | 53 |
| Tableau 22 : Caractéristiques de la retenue.....   | 55 |
| Tableau 23 : Caractéristiques de la digue.....   | 56 |
| Tableau 24: Laminage des crues .....   | 58 |
| Tableau 25 : Eléments de conception du déversoir.....                                      | 58 |
| Tableau 26: Stabilité du déversoir.....  | 58 |
| Tableau 27 : Caractéristiques du bassin de dissipation .....                               | 59 |
| Tableau 28 : Dimensionnement final du mur bajoyer.....                                     | 60 |
| Tableau 29 : Vérification de la stabilité du mur bajoyer.....                              | 60 |

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: Organigramme de la DGIH .....   | 11 |
| Figure 2: Localisation du Site du barrage de Tampouy-Yarcé .....                        | 12 |
| Figure 3 : Carte des sols de la commune de Zitenga.....                                 | 13 |
| Figure 4 : illustration des forces agissants sur le déversoir.....                      | 36 |
| Figure 5 : : Pluies moyenne mensuelles de Ouaga 1980-2014 .....                         | 45 |
| Figure 6 : Indices de pluies standardisées .....  | 46 |
| Figure 7 : Analyse statistique des données pluviométriques annuelles .....              | 46 |
| Figure 8 : Analyse des données pluviométriques journalières maximales de Ouagadougou .. | 47 |
| Figure 9 : Bassin versant alimentant le barrage de Tampouy-Yarcé .....                  | 48 |
| Figure 10 : Courbe Hypsométrique du bassin versant du Tampouy-Yarcé .....               | 48 |
| Figure 11 : Hydrogramme de crue .....   | 50 |
| Figure 12 : Courbe hauteur surface de la cuvette.....                                   | 54 |
| Figure 13 : Courbe hauteur volume de la cuvette .....                                   | 54 |
| Figure 14 : Courbe d'exploitation de la retenue .....                                   | 55 |
| Figure 15 : Ligne phréatique à travers la digue.....                                    | 57 |
| Figure 16 : Vérification de la stabilité au niveau du talus aval .....                  | 57 |
| Figure 17: Coupe transversale du mur bajoyer .....                                      | 61 |

**FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE TAMPOUY-YARCE**

| DESIGNATION   | CARACTERISTIQUES          |
|---|---------------------------|
| <b>I. DONNEES GENERALES</b>                         |                           |
| <b>I.1. LOCALISATION</b>                            |                           |
| Village   | Tampouy-Yarcé             |
| Commune   | Zitenga                   |
| Province  | Oubritenga                |
| Région  | Plateau Central           |
| Coordonnées UTM                                     | X= 690 553 m              |
|   | Y = 1 407 693 m           |
| Distance de Ziniaré                                 | 26 km                     |
| Distance de Ouagadougou en passant par Ziniaré      | 61 km                     |
| <b>I.2. BASSIN VERSANT</b>                          |                           |
| Superficie  | 54,24 km <sup>2</sup>     |
| Périmètre   | 39,01 km                  |
| <b>I.3. PLUVIOMETRIE</b>                            |                           |
| Pluie moyenne annuelle (Pan)                        | 732,00 mm                 |
| Pluie médiane Pmed                                  | 713,60 mm                 |
| Pluie décennale humide                              | 870,70 mm                 |
| Pluie décennale sèche                               | 593,20 mm                 |
| Pluie journalière décennale humide (P10)            | 116,30 mm                 |
| Pluie journalière centennale humide (P100)          | 185,00 mm                 |
| <b>I.4. DEBIT DE CRUES CARACTERISTIQUES</b>         |                           |
| Débit de crue décennale                             | 123,87m <sup>3</sup> /s   |
| Débit de crue centennale (crue de projet)           | 259,6 m <sup>3</sup> /s   |
| <b>I.5. APPORTS LIQUIDES</b>                        |                           |
| Apport d'eau annuel en année moyenne                | 6 357 324 m <sup>3</sup>  |
| Apport d'eau annuel en année quinquennale sèche     | 3 754 651 m <sup>3</sup>  |
| Apport d'eau annuel en année décennale sèche        | 2 608 249 m <sup>3</sup>  |
| <b>II. CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES DU BARRAGE</b> |                           |
| <b>II.1. DIGUE</b>                                  |                           |
| Type  | Terre homogène (argileux) |
| Longueur  | 1490 m                    |
| Cote de la crête                                    | 288,00 m                  |
| Largeur crête                                       | 4,00 m                    |
| Hauteur   | 7,00 m                    |
| Pente talus amont                                   | 2H/1V                     |
| Pente talus aval                                    | 2H/1V                     |
| <b>II.2. DEVERSOIR</b>                              |                           |
| Type  | Poids                     |

|                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Forme                               | Trapézoïdale              |
| Position                            | Centrale                  |
| Longueur                            | 160 m                     |
| Cote de calage                      | 286,25 m                  |
| Largeur en crête                    | 1,00 m                    |
| Hauteur                             | 5,25 m                    |
| Type de Bassin de dissipation       | Ressaut de type II USBR   |
| Longueur du Bassin de dissipation   | 4,50 m                    |
| <b>II.3. OUVRAGE DE PRISE</b>       |                           |
| Nombre                              | 1                         |
| Type                                | Vanne aval                |
| Position                            | Rive gauche               |
| Caractéristique de la conduite      | Fonte                     |
| Diamètre de la conduite             | DN 400 mm                 |
| Longueur de la conduite             | 35 m                      |
| <b>II.4. CAPACITE DE LA RETENUE</b> |                           |
| Capacité du barrage                 | 1 500 000 m <sup>3</sup>  |
| Superficie du plan d'eau            | 102,93 ha                 |
| <b>II.5. COÛT TOTAL DES TRAVAUX</b> | <b>1 856 202 106 FCFA</b> |

## INTRODUCTION

En Afrique tropicale et subsaharienne, le développement économique de la plupart des pays est tributaire de l'agriculture et de l'élevage. Pour booster le développement, une modernisation de ces secteurs, qui dépendent fortement de la pluviométrie, s'avère nécessaire. C'est pourquoi la mobilisation des eaux de surface constitue une préoccupation majeure pour bon nombre de pays et plus particulièrement les pays sahéliens où la pluviométrie est non seulement relativement faible mais aussi caractérisée par une inégale répartition spatiale et temporelle.

Le Burkina Faso, pays enclavé de la zone soudano-sahélienne n'échappe pas à cette situation de précarité pluviométrique au point d'être placé en situation de stress hydrique [1]. Le pays est en plus soumis aux aléas climatiques qui rendent difficile la disponibilité de l'eau. En outre, l'effectif de la population au niveau national est passé de 10 312 000 habitants en 1996 à 14 017 000 en 2006 et 19 632 000 en 2019 [2]. Pour notre pays, l'un des corollaires de cette démographie galopante est une demande croissante des besoins en eau.

Le Gouvernement burkinabè tente de pallier au problème de déficits d'eau en poursuivant ses efforts de réhabilitation des barrages dégradés et de réalisation de nouveaux autres ouvrages. Ainsi, au titre du budget de l'Etat, exercice 2019, le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, à travers la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH) a commandité des études de faisabilité pour la réhabilitation de 10 barrages et la réalisation de 9 nouveaux à travers le pays.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail dont le thème est intitulé « **Etudes techniques du barrage de Tampouy-Yarcé, Commune de Zitenga, Région du Plateau Central, au Burkina Faso** ». Ce travail réalisé du 25 juillet au 21 décembre 2019 au sein de la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH) entre dans le cadre du mémoire de fin de cycle de Master d'ingénierie à l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE).

Le présent rapport qui fait la synthèse des travaux effectués au cours du stage est structuré autour des points suivants : (i) Présentation du projet, (ii) Présentation de la structure d'accueil et de la zone d'étude, (iii) Démarche méthodologique et matériels utilisés, (iv) Résultats et discussion et (v) Conclusion et recommandations.

## **I. PRESENTATION DU PROJET**

### **1.1. Contexte et justification**

Tampouy-Yarcé est un village de la Commune de Zitenga dans la Région du Plateau Central. Au Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2006 [3], la localité comptait 1283 habitants. Les activités économiques de la population de ce village, à l'instar du monde rural au Burkina Faso, sont basées sur l'agriculture et l'élevage qui sont fortement dépendant de la disponibilité des ressources en eau.

Cependant, on constate une baisse tendancielle de la pluviométrie dans notre pays ainsi qu'une inégale répartition spatiale et temporelle de celle-ci et ce, depuis les années 1970. Une analyse des cumuls pluviométriques annuels au pas de trente ans indique une migration du Nord vers le Sud des isohyètes 600 et 900 mm de 100 à 150 km environ de 1930 à 2010 [4]. Dans la même source, une étude de la Direction Générale de la Météorologie (DGM) a montré qu'au cours du XXème siècle le nombre de jours consécutifs sans pluie a connu une hausse (46 à 57 jours) dans certaines localités du pays.

Cette situation est de nature à handicaper la production agricole et le développement socio-économique de la population en dépit des multiples efforts. La campagne agricole de 2004/2005 est illustrative de cette baisse de rendement avec un déficit céréalier estimé à 436 013 tonnes au niveau national [5]. Depuis lors, les déficits céréaliers sont récurrents, plaçant parfois le pays en situation d'insécurité alimentaire.

Ainsi, depuis les sécheresses des années 1970, l'Etat Burkinabè accentue la mise en œuvre des projets de mobilisation des ressources en eau de surface à travers la réalisation des petits barrages sur toute l'étendue du territoire. Cette politique vise à permettre à la population de pratiquer l'agriculture de saison sèche en complément à l'agriculture pluviale mise en rude épreuve par la récurrence des poches de sécheresses.

Dans cette dynamique, le Gouvernement burkinabè à travers le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, poursuit ses efforts de réhabilitation des barrages dégradés et de réalisation de nouveaux barrages dans les 13 régions du pays. Ainsi, au titre du budget de l'Etat, exercice 2019, le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, à travers la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH) a lancé des études de faisabilité pour la réhabilitation de 10 barrages et la réalisation de 9 nouveaux autres.

La Région du Plateau Central bénéficie dans ce contexte, du projet d'études de réalisation du barrage de Tampouy-Yarcé, Commune de Zitenga, Province d'Oubritenga.

## **1.2. Objectifs de l'étude**

### **1.2.1. Objectif général**

L'objectif général de l'étude est d'élaborer un dossier technique de faisabilité pour la réalisation du barrage de Tampouy-Yarcé, afin de mobiliser les ressources en eau nécessaires pour soutenir la production céréalière et maraîchère.

### **1.2.2. Objectifs spécifiques**

De manière spécifique, il s'agit de :

- réaliser une synthèse des études de base qui serviront à la conception et au dimensionnement de l'ouvrage ;
- proposer la conception et le dimensionnement de l'évacuateur de crue, de la digue et des ouvrages annexes ;
- proposer des plans d'exécution des différents ouvrages ;
- réaliser une notice d'impact environnementale et sociale ;
- estimer les coûts des travaux de réalisation du projet.

## **1.3. Résultats attendus**

Les attentes à l'issue de cette étude sont les suivantes :

- une synthèse des études de base est réalisée ;
- la conception et le dimensionnement de l'évacuateur de crue, de la digue et des ouvrages annexes sont réalisés ;
- les plans d'exécution des différents ouvrages sont proposés ;
- une notice d'impact environnementale et sociale est réalisée ;
- le coût des travaux de réalisation du projet barrage est estimé.

### III. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Dans le cadre de ce stage de fin de cycle, nous avons été reçus par la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH). C'est une direction centrale du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement dont les attributions, l'organisation et le fonctionnement sont régis par arrêté ministériel, notamment l'Arrêté n°2016/0063/MEA/CAB du 10 Août 2016 portant attributions, organisation et fonctionnement de la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques.

La DGIH a pour principale mission, l'élaboration et le suivi de la mise en œuvre des politiques et stratégies nationales dans les domaines des infrastructures hydrauliques (ouvrages de mobilisation, de gestion, de distribution des ressources en eau), en relation avec les structures du département et celles des ministères techniques concernés. Elle comprend deux directions techniques :

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

Outre ces deux directions techniques, la DGIH comporte des structures d'appui (un Secrétariat de Direction (SD), un Service Administratif et Financier (SAF), une Cellule d'Assistance (CA)). Elle assure aussi la tutelle technique des projets et programmes de développement que sont :

- le projet de mobilisation et de valorisation des eaux de surface dans la région du Plateau Central (PMVEC) ;
- le projet de restauration, de protection et de valorisation du Lac Bam (PRPV/LB) ;
- le projet de valorisation du barrage souterrain de Naré et de réhabilitation des infrastructures connexes (PRV/BSN) ;
- le programme de développement intégré de la vallée de Samendeni (PDIS) ;
- le projet de réhabilitation de barrages et d'aménagement de périmètres irrigués et de bas-fonds dans les provinces du Boulkiemdé, du Ziro, du Sanguié et des Balés (PRBA) ;
- le projet de Construction du barrage de Bambakari dans la commune de Tin-Akoff, province de l'Oudalan, région du Sahel, phase II (PCB-Bambakari)
- le projet d'Aménagements hydrauliques multi-usages et multi-villages pour la contribution à l'atteinte de la sécurité alimentaire dans la commune rurale de Kourinion, province du Kéné Dougou, région des Hauts-Bassins au Burkina Faso (PRAMU).

L'organigramme complet de la DGIH est représenté par la Figure 1

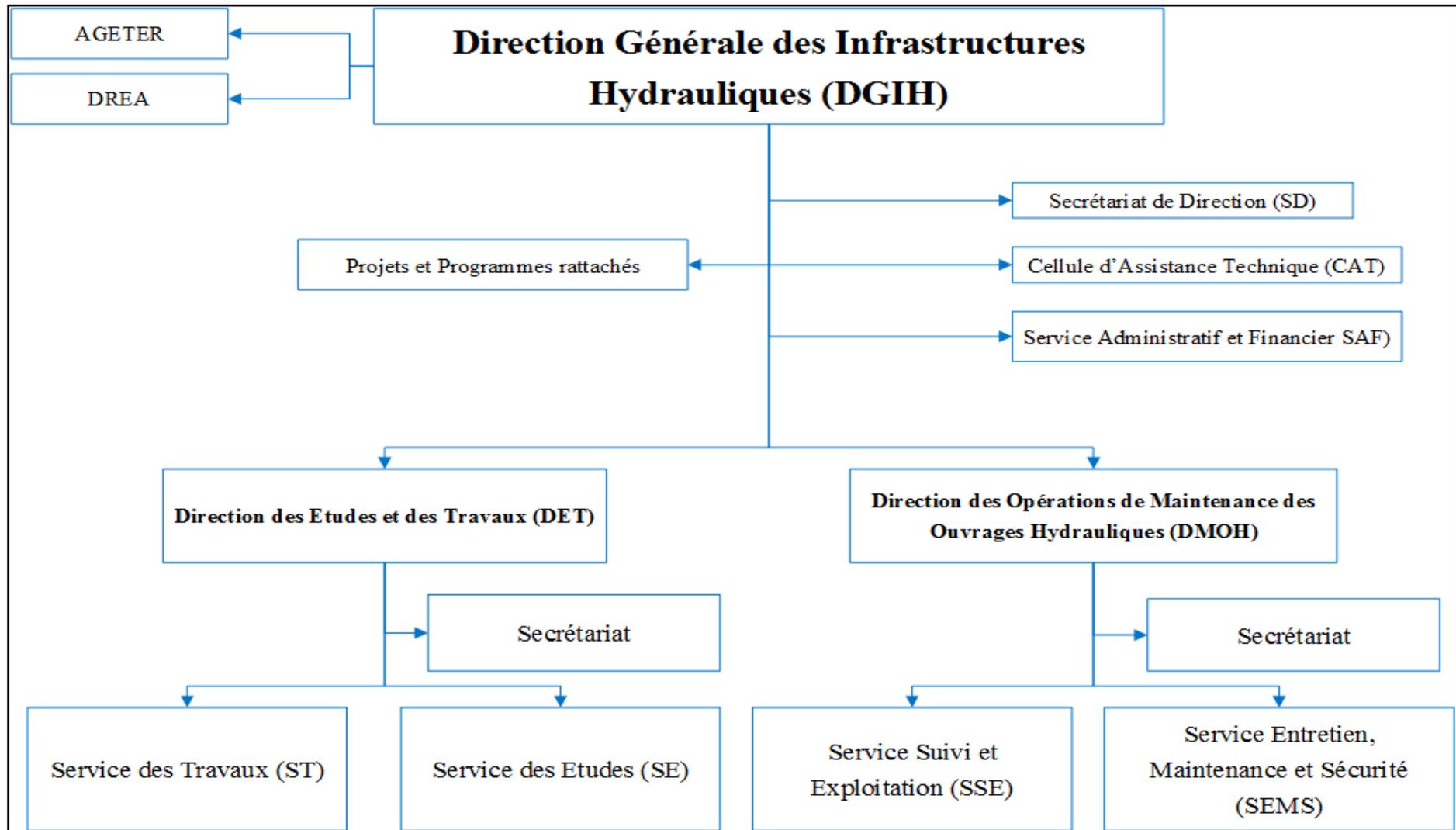


Figure 1: Organigramme de la DGIH



### Climat

Le climat de la commune est de type soudano sahélien selon le découpage des zones climatiques du Burkina et les pluviométries annuelles vont de 600 à 700 mm [6]. Mais les données fournies par la météorologie indiquent une pluviométrie moyenne annuelle de 732 mm. La saison des pluies va de juin à septembre et la saison sèche de d'octobre à mai.

### Relief et profil pédologique

La commune de Zitenga est implantée sur une pénéplaine peu élevée aux pentes douces datant de l'Antébirimien dont l'altitude varie entre 285 et 345 m. Les principaux sols du territoire communal de Zitenga se composent des sols peu évolués, des lithosols, des sols à minéraux bruts, des hydromorphes, vertisols et les sols à sesquioxydes (Figure 3. Ils se caractérisent par des réserves en eau utile faible, une structuration peu favorable à la pénétration racinaire et surtout un encroustement en surface très favorable aux ruissellements des eaux pluviales [7].

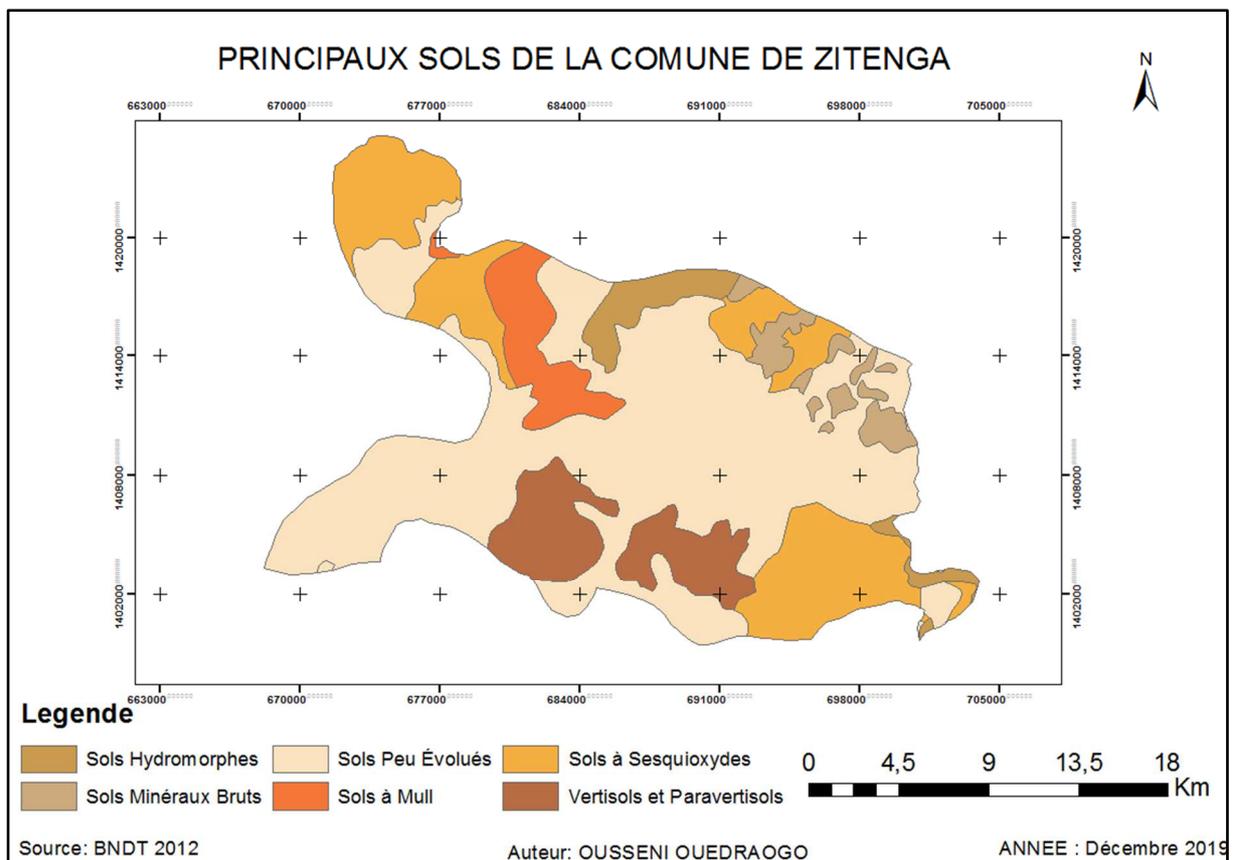


Figure 3 : Carte des sols de la commune de Zitenga

### Hydrographique

Sur le plan hydrographique les eaux de la commune sont drainées par un ensemble de cours d'eau à régime pluvial tropical, fortement tributaires de la pluviométrie. Ils sont des affluents

du fleuve Nakanbé qui lui-même relève du bassin international de la volta.

#### Couvert végétal

La végétation se caractérise essentiellement par des savanes arborées, arbustive et herbacée. Selon la Banque de Données d'Occupation des Terres (BDOT), la commune se distingue par un couvert végétal globalement peu important à dominante agro-forestière.

## V. MATERIEL ET METHODOLOGIE DE CONCEPTION

### 4.1. Matériel

Afin de rendre les données exploitables, nous avons fait appel à un ensemble d'outils parmi lesquels nous pouvons citer :

-  **Un GPS** pour la prise des coordonnées géographiques ;
-  **CYPE 2014** pour le dimensionnement des murs de bajoyer ;
-  **GEOSlope 2012** pour la vérification de la stabilité des pentes des talus ;
-  **CROPWAT 8.0** pour la détermination des coefficients culturaux ;
-  **HyfranPlus** pour l'analyse fréquentielles des pluies ;
-  **AutoCAD Civil 3D 2018** pour les différents dessins et le tracé des profils ;
-  **Arc Gis 10.4.1, Google Earth et Globale Mapper** pour délimiter le bassin versant et éditer les différentes cartes ;
-  et enfin les outils comme **pack office 2016** pour les calculs et la rédaction du rapport.

### 4.2. Méthodologie

Dans cette partie, il s'agit de présenter l'approche méthodologique adoptée pour conduire l'étude.

#### 4.2.1. Reconnaissance du site

Une visite de terrain a été effectuée sur le site du barrage en compagnie d'une équipe de la DGIH. La mission a rencontré les autorités locales pour présenter le projet et demander leur accompagnement dans la réalisation des études. Cette mission a permis d'apprécier visuellement la morphologie de la vallée et l'environnement du site. Des entretiens ont été réalisés avec des personnes ressources pour reconstituer les dates des évènements pluvieux extrêmes.

### **4.2.2. Recherche documentaire**

La recherche documentaire a consisté à rassembler et à consulter des rapports d'études de barrages, des livres, des cartes, des supports de cours de 2iE qui traitent de la conception et du dimensionnement des ouvrages hydrauliques, notamment les barrages.

### **4.2.3. Collecte des données topographiques**

Les données topographiques sur la cuvette du barrage ont été fournies par le bureau d'études AGIH, par le biais de la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques.

Aussi nous avons utilisé des images satellitaires (Digital Elevation Model) de la zone d'étude, téléchargées à partir du site web ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) ainsi que les données de la base nationale des données topographies (BNDDT 2012). Ces images ont servi pour la délimitation du bassin versant et au calcul de ces paramètres physiographiques et morphométriques à l'aide de ArcGIS.

### **4.2.4. Etudes topographiques et géotechniques**

#### *Etudes topographiques*

Le bureau a procédé à la mise en place d'un polygone de base sur l'ensemble du site qui a servi d'ossature aux levés de détails pour la restitution de plans cotés. Le report des informations recueillies sur le terrain en coordonnées (X, Y, Z) a permis de produire un plan de la cuvette avec des courbes de niveau d'équidistance 0,50 m ainsi que l'établissement du plan d'ensemble du site du barrage et du profil en long de l'axe de la digue. Le fond autocad du plan d'ensemble nous a été transmis par le bureau d'étude afin que nous puissions calculer les courbes hauteurs surfaces et volume. Ces calculs ont été directement faits avec le logiciel SIG. Ainsi pour chaque courbe de niveau donnée on obtient la surface du plan d'eau et le volume cumulé qui lui sont associés.

#### *Etudes géotechniques*

Quant aux reconnaissances géotechniques, elles ont été menées pour identifier les fondations de l'axe du barrage et rechercher des emprunts de matériaux de construction (matériaux de remblais compacté, sable, gravier agrégats de béton et moellons). Six (06) puits à ciel ouvert dont les profondeurs vont de 1,2 m à 4 m ont été réalisés le long de l'axe de la digue en vue de déterminer les caractéristiques du sol de fondation pour la définition des profondeurs d'ancrage.

### 4.2.5. Analyse des données pluviométriques

Les données de la station de Ouagadougou (aéroport) ont été retenues pour l'analyse de la pluviométrie compte tenu de sa proximité avec le site du barrage. Les séries de pluies journalières maximales et annuelles de la période allant de l'année 1980 à 2014 ont servi de base pour l'étude de la pluviométrie. Ces données ont été fournies par l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) du Burkina Faso. Pour l'analyse des séries de données climatiques, la taille minimale de l'échantillon est de trente (30) ans. Notre échantillon remplissait bien cette condition et donc nous avons poursuivi l'analyse.

L'analyse nous a permis de déterminer le régime climatique de la zone du projet et d'apprécier la tendance des précipitations à travers le calcul des indices de pluies standardisées (IPS).

|  |  |
|--|--|
| $IPS = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma_P}$ | $P_i$ : Cumule pluviométrique de l'année i<br>$\bar{P}$ : Pluie moyenne annuelle de la série chronologique et<br>$\sigma_P$ l'écart-type de la série chronologique<br>Si IPS est $\begin{cases} > 0; \text{ Année excédentaire} \\ < 0; \text{ Année déficitaire} \end{cases}$ |
|--|--|

Aussi, nous avons utilisé le logiciel Hyfran-plus pour déterminer les quantiles correspondants à des périodes de retour données avec un niveau de confiance de 95%.

L'ajustement des pluies annuelles a été fait par la loi de GAUSS. Sa fonction de répartition est la suivante :

|   |  |
|---|--|
| $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\mu} - \frac{1}{e^{2\mu^2 d\mu}}$ | avec $\mu = \frac{y-\bar{y}}{s}$ la variable réduite<br>Cette loi présente deux paramètres qui sont : la moyenne $\bar{y}$ et l'écart type S |
|---|--|

L'ajustement des pluies maximales journalières a été faite par la loi de GUMBEL. Sa fonction de répartition est la suivante :

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| $F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}}$ | Avec $X_0$ le paramètre de position et $\frac{1}{a}$ le paramètre d'échelle |
|-----------------------------|---|

## 4.2.6. Etudes hydrologiques

### 4.2.6.1. Caractéristiques du bassin versant

#### Définition du bassin versant

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau se définit comme étant la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il correspond à l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique [8]. La superficie et le périmètre du bassin versant ont été déterminés automatiquement avec l'outil SIG Arc GIS.

#### La courbe hypsométrique

Elle fournit une vue globale sur la pente du bassin versant. C'est une représentation de la répartition de la surface totale du bassin versant en fonction de l'altitude. Elle a été établie à l'aide du logiciel ArcGIS et du MNT de la zone. Les surfaces en fonction des tranches d'altitudes obtenues ont permis de tracer le graphe de la courbe hypsométrique sur Excel.

#### La pente longitudinale

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. La détermination exacte de la pente est délicate en raison des variations à travers tout le bassin versant. Dans notre cas nous avons tracé le profil en long du cours d'eau principal et fait le rapport entre la différence de l'altitude la plus élevée et celle la plus basse et la longueur du cours d'eau principal.

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| $I (\text{‰}) = \frac{\Delta H}{Lc}$ | Avec : <b>I</b> la pente longitudinale<br>$\Delta H$ : la différence d'altitude (m)<br>et <b>Lc</b> : longueur du cours d'eau principal (m) |
|--------------------------------------|---|

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 1 ci-dessous.

**Tableau 1: 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‰).<br>Ce sont des bassins de plaine ;   |
| R3 | Correspond à des bassins de pentes modérées comprises entre 5 et 10 m/km (5‰ et 10‰).<br>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 : [9]

#### La perméabilité du sol

Nous avons utilisé la carte géologique du Burkina Faso pour identifier les différents types de sol du bassin versant. Après avoir identifié la nature du sol du bassin versant nous l'avons classé suivant la classification de Rodier et Auvrey Tableau 2.

**Tableau 2: Perméabilité des sols selon la classification de Rodier et Auvrey**

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

Sources : [9]

#### L'indice de compacité de Gravelius

Cet indice est aussi appelé coefficient de forme et correspond au rapport du périmètre du bassin versant à celui d'un cercle de même forme [8]. Il est donné par la relation suivante :

|   |  |
|---|--|
| $K_G = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{S}}$ | <p><b>S</b> : superficie du bassin versant en km<sup>2</sup> ;</p> <p><b>P</b> : périmètre en km ;</p> <p><b>K<sub>G</sub></b> : Indice de compacité en m ;</p> <p>Si <math>K_G &gt; 1</math> alors le bassin versant est de forme allongée ;</p> <p>Si <math>K_G \leq 1</math> alors le bassin versant est de forme arrondie.</p> |
|---|--|

✚ *La longueur du rectangle équivalent*

C'est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin versant étudié [8]. Elle est calculée suivant la relation :

|  |  |
|--|--|
| $Leq = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4}$ | <p><b>P</b> : Périmètre du bassin versant en km ;</p> <p><b>Leq</b> : Longueur du rectangle équivalent en km ;</p> <p><b>S</b> : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.</p> |
|--|--|

✚ *L'indice de pente global (I<sub>g</sub>)*

L'indice global de pente caractérise le relief du bassin versant. Il influe de manière notable sur les débits de crues en augmentant ou en diminuant les vitesses de ruissellement suivant que la pente soit forte ou faible [8]. Il est défini par la formule :

|  |   |
|--|---|
| $I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{Leq}$ | <p><b>H<sub>5%</sub> et H<sub>95%</sub></b> : Les valeurs respectives des côtes correspondantes à 5% et 95% de la superficie de bassin versant ;</p> <p><b>I<sub>g</sub></b> : indice global de pente en m/km ;</p> <p><b>Leq</b> : Longueur du rectangle équivalent en km.</p> |
|--|---|

✚ *L'indice global de pente corrigé (I<sub>gcorr</sub>)*

IL est calculé lorsque la pente transversale est trop différente de la pente longitudinale. Le bulletin 54 de la FAO précise que si la pente transversale (I<sub>t</sub>) est supérieure à la pente longitudinale de plus de 20% alors I<sub>gcorr</sub> est utilisé à la place de I<sub>g</sub> [9]. Il est défini par la formule suivante :

|  |   |  |
|--|---|--|
| $I_{gcorr} = \frac{(n - 1)I_g + I_t}{n}$ | <p><b>I<sub>g</sub></b> : indice global de pente en m/km</p> <p><b>I<sub>t</sub></b> : pente transversale en m/km</p> <p><b>I<sub>gcorr</sub></b> : Indice global de pente corrigée en m/km</p> <p><b>n</b> : Coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent</p> | <p>n vaut :</p> <p>2 pour L &lt; 5 Km ;</p> <p>3 pour 5 km &lt; L &lt; 25 Km ;</p> <p>4 pour 25 Km &lt; L &lt; 50 Km ;</p> <p>5 pour L &gt; 50 Km.</p> |
|--|---|--|

 *La dénivelée spécifique*

C'est le produit de l'indice de pente global ( $I_g$  ou  $I_{gcorr}$ ) par la racine carrée de la superficie du bassin. Elle permet de différencier les classes de relief.

|                        |   |
|------------------------|---|
| $D_s = I_g * \sqrt{S}$ | $I_g$ : Indice globale de pente en m/km ;<br>$D_s$ : Dénivelée spécifique en m ;<br>$S$ : superficie du bassin versant en km <sup>2</sup> . |
|------------------------|---|

En fonction de  $D_s$  on distingue différentes classes de relief Tableau 3

**Tableau 3: Classe du relief en selon la valeur de  $D_s$**

| Valeur de $D_s$    | Classe du relief |
|--------------------|------------------|
| $D < 50 m$ ;       | Relief faible    |
| $50m < D_s < 100m$ | Relief modéré    |
| $D_s > 100m$       | Relief forte     |

 *La densité de drainage*

Elle se définit comme étant le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la surface du bassin versant [8].

|                           |  |
|---------------------------|--|
| $D_d = \frac{\sum Li}{S}$ | $Li$ : longueur élémentaire des cours d'eau en km ;<br>$S$ : Superficie du bassin versant en km <sup>2</sup> ;<br>$D_d$ : la densité du réseau hydrographique. |
|---------------------------|--|

#### 4.2.6.2. Détermination de la crue de projet

La crue, caractérisée par un débit de fréquence rare, exprime une augmentation instantanée du volume d'eau qui transite par le cours d'eau. La crue de projet adoptée est celle que l'ouvrage doit être capable d'évacuer sans dommages ; afin de se mettre dans la sécurité, le barrage de Tampouy-Yarcé sera dimensionné pour évacuer la crue centennale. C'est-à-dire la crue susceptible de se produire une fois tous les cents (100) ans. Le cours d'eau à barrer n'étant pas jaugé, la détermination des débits de crue se fera par la méthode déterministe de l'ORSTOM, et de la méthode de régression linéaires de Puech et Chabi ou CIEH [9].

 *Détermination du coefficient de ruissellement décennal ( $Kr10$ )*

Pour un évènement pluie-débit, c'est le rapport du volume de ruissellement au volume précipité. Ce coefficient est très difficile à estimer et son évaluation se base sur des critères relativement subjectifs. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour la détermination du coefficient  $Kr10$ .

✓ Méthode ORSTOM de PUECH et CHABI-GONNI

Cette méthode est fonction de la zone climatique et du substrat, et utilise des résultats des régressions obtenues sur la base du substrat géologique et de la précipitation annuelle. 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 4:

**Tableau 4 : 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          | $K_3=2,10^7P_{an}^{-2.2}$ |
| Argile + marnes | $K_4=300P_{an}^{-0.3}$    |
| Schistes        | $K_5=370P_{an}^{-0.375}$  |

Source [9].

Le coefficient de ruissellement du bassin est donné par :

|                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| $K_{r10} = \sum_{i=1}^n aiKi$ | $ai = \% \text{ de sol de type } i$ |
|-------------------------------|-------------------------------------|

✓ Méthode ORSTOM de détermination de Kr<sub>10</sub>

Cette méthode permet par ajustement des courbes k<sub>r70</sub> et k<sub>r100</sub> en fonction de la zone climatique, de la superficie du bassin versant, de la perméabilité du sol et l'indice global de pente Ig, de calculer k<sub>r10</sub>.

Pour une précipitation décennale ponctuelle P<sub>10</sub> différente de 70 et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissellement k<sub>r10</sub> est faite par interpolation linéaire entre les valeurs de k<sub>r70</sub> et k<sub>r100</sub>. Ces valeurs sont déterminées graphiquement à l'aide des courbes empiriques ou à partir des équations analytiques de forme générales présentées ci-dessous.

|  |   |
|--|---|
| $Kr_{70} \text{ ou } Kr_{100} = \frac{a}{(S + b)} + c$ | <p><b>Kr70</b> : Coefficient de ruissellement décennal ;</p> <p><b>Kr100</b> : Coefficient de ruissellement centennal ;</p> <p><b>S</b> : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.</p> |
|--|---|

🚦 Coefficient de pointe (α<sub>10</sub>)

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

|   |   |
|---|---|
| $\alpha_{10} = \frac{Q_{r10}}{Q_{m10}}$ | $Q_{r10}$ : le débit maximum ruisselé ;<br>$Q_{m10}$ : le débit moyen ruisselé ;<br>$\alpha_{10}$ : le coefficient de pointe. |
|---|---|

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

#### Période de retour

Pour un dimensionnement allant dans le sens de la sécurité, G DEGOUTTE [10] recommande le choix de la durée de retour de la crue de projet en fonction des situations suivantes :

**Tableau 5:Période de retour**

| $H^2\sqrt{V}$              | < 5 | 5 à 30 | 30 à 100 | 100 à 700 | >700  |
|----------------------------|-----|--------|----------|-----------|-------|
| Période de retour (années) | 100 | 500    | 1000     | 5000      | 10000 |

Source [10]. Page 25

Avec H : hauteur du barrage (m) et V : volume de la retenue (hm<sup>3</sup>).

#### Pluie journalière décennale $P_{10}$ et centennale Journalière $P_{100}$

Les pluies journalières décennale  $P_{10}$  et centennale  $P_{100}$  ont été déterminées à partir des séries pluviométriques de la station de Ouagadougou par les méthodes d'ajustement statistiques.

#### Coefficient d'abattement (Villaume en 1974)

C'est un coefficient de réduction qui permet de passer pour une fréquence donnée d'une hauteur de pluie ponctuelle à une hauteur moyenne calculée à une certaine superficie. Il nous permet de calculer la pluie décennale moyenne  $P_{m10}$ .

|   |  |
|---|--|
| $A = 1 - \frac{(161 - 0,042 * Pan)}{1000} * \log S$ | $Pan$ : pluviométrie annuelle en mm ;<br>$S$ : surface du bassin versant en km <sup>2</sup> ;<br>$A$ : coefficient abattement. |
|---|--|

#### Calcul de la pluie journalière moyenne décennale ( $P_{m10}$ )

C'est le produit de la hauteur de la précipitation décennale ponctuelle par le coefficient d'abattement.

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| $P_{m10} = A \times P_{10}$ | $P_{10}$ : la pluie décennale en mm ;<br>$A$ : coefficient d'abattement ;<br>$P_{m10}$ : pluie journalière moyenne décennale. |
|-----------------------------|---|

🚧 *Temps de base (Tb) et temps de montée (Tm)*

Le temps de base et le temps de montée des eaux à l'exutoire du barrage sont également déduits des abaques de la méthode d'Auvrey et de Rodier [9].

✓ Temps de base (Tb)

En zone sahélienne, le temps de base est donné par :  $Tb = a * S^{0,35} + b$ . Les coefficients (a et b) sont des paramètres fonction de l'indice global pente, de la perméabilité et de la zone d'appartenance climatique du bassin versant.

Dans notre cas, le temps de base a été obtenu par interpolation linéaire entre les temps de base de  $I_g = 7$  et  $I_g = 10$  à l'aide des formules suivante :

✓ Pour  $I_g=7m/km$  et  $S > 6 km^2$ ,  $Tb10 = a * S^{0.35} + b$

✓ Pour  $I_g=10m/km$  et  $S > 25 km^2$ ,  $Tb10 = a * S^{0.35} + b$

✓ Temps de montée (Tm)

En zone sahélienne, il est défini par la même formule générale que celle du temps de de base.

Dans notre cas, le temps de montée a été obtenu par interpolation linéaire entre les temps de base de  $I_g = 7$  et  $I_g = 15$  à l'aide des formules suivante :

Pour  $I_g=7m/km$  et  $S > 6 km^2$ ,  $Tm10 = a * S^{0.35} + b$

Pour  $I_g=10m/km$  et  $S > 50 km^2$ ,  $Tm10 = a * S^{0.35} + b$

🚧 *Détermination de la crue décennale par la méthode déterministe*

Cette méthode déterministe, dite aussi méthode de Rodier et Auvray a été publiée dans le bulletin N°54 de la FAO [9].

Elle a été élaborée par J. Rodier et C. Auvray et s'applique à des bassins versants situés entre les isohyètes 150 à 200 et 1200 mm et dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km<sup>2</sup>. La formule est la suivante :

|   |   |
|---|---|
| $Q_{10} = m * A * K_{r10} * P_{10} * \alpha_{10} \frac{S}{T_b}$ | <p><b>Q<sub>10</sub></b> : débit de crue décennale en m<sup>3</sup> /s ;</p> <p><b>m</b> : Coefficient majorateur égal à 1,05 ;</p> <p><b>A</b> : coefficient d'abattement de VILLAUME ;</p> <p><b>K<sub>r10</sub></b> : coefficient de ruissellement ;</p> <p><b>P<sub>10</sub></b> : pluie journalière maximale décennale (mm) ;</p> <p><b>α<sub>10</sub></b> : Coefficient de pointe pris égal à 2,6 ;</p> <p><b>S</b> : la superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;</p> <p><b>T<sub>b</sub></b> : temps de base de la crue décennale (mn).</p> |
|---|---|

✓ Calcul de la lame d'eau ruisselée

La lame d'eau ruisselée se calcule en faisant le produit de la pluie journalière moyenne décennale par le coefficient de ruissellement  $K_{r10}$ .

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| $L_r = P_{m10} \times K_{r10}$ | <p><math>P_{m10}</math> : Pluie journalière décennale en mm ;<br/> <math>K_{r10}</math> : Coefficient de ruissellement en % ;<br/> <math>L_r</math> : la lame d'eau ruisselée.</p> |
|--------------------------------|--|

✓ Le volume ruisselé décennal

Il s'obtient par le produit de la lame d'eau ruisselée à la surface du bassin versant.

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| $V_{r10} = L_r \times S \times 1000$ | <p><math>L_r</math> : lame d'eau ruisselée en mm ;<br/> <math>S</math> : Superficie du bassin versant en km<sup>2</sup> ;<br/> <math>V_{r10}</math> : le volume ruisselé en m<sup>3</sup>.</p> |
|--------------------------------------|--|

✓ Le débit moyen de ruissellement

C'est le rapport entre le volume ruisselé décennal et le temps de base.

|   |   |
|---|---|
| $Q_{mr10} = \frac{V_{r10}}{T_{b10}(s)}$ | <p><math>V_{r10}</math> : Volume ruisselé décennale en m<sup>3</sup> ;<br/> <math>T_{b10}(s)</math> : Temps de base en s ;<br/> <math>Q_{mr10}</math> : débit moyen de ruissellement.</p> |
|---|---|

✓ Le débit maximal de ruissellement

C'est le produit entre le débit moyen ruisselé et le coefficient de pointe.

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| $Q_{r10} = \alpha_{10} * Q_{mr10}$ | <p><math>Q_{mr10}</math> : Débit moyen de ruissellement en m<sup>3</sup>/s ;<br/> <math>\alpha_{10}</math> : Coefficient de pointe pris égal à 2,6 ;<br/> <math>Q_{r10}</math> : débit maximal de ruissellement.</p> |
|------------------------------------|--|

✚ Détermination de la crue décennale par la méthode de régressions linéaires du CIEH

La formule de calcul de la crue décennale est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

|   |   |
|---|---|
| $Q_{10} = a * S^s * P_{an}^p * i_g^i * K_{r10}^k * D_d^d$ | <p><math>Q_{10}</math> : crue décennale<br/> <math>a</math> : Constante de la régression<br/> <math>S</math> : la superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)<br/> <math>P_{an}</math> : Pluviométrie annuelle moyenne (mm)<br/> <math>I_g</math> : Indice global de pente corrigé (m/km)<br/> <math>K_{r10}</math> : Coefficient de ruissellement décennal<br/> <math>D_d</math> : Densité de drainage (km<sup>-1</sup>)<br/> et s, p, i, k, d, m des coefficients d'ajustement déterminés par régressions multiples</p> |
|---|---|

Source [9]

En fait, cette méthode est faite de statistiques avec plusieurs variantes fonction de l'appartenance du bassin à un découpage climatique, une position géographique, un découpage pour un pays ou un groupe. En se basant sur les études du CIEH (C. Puech et D. Chabi Gonni) et en tenant compte des caractéristiques du bassin et de son emplacement et aussi du régime climatique de la zone, l'équation de débit décennal calée et validée pour une soixantaine de bassins versants du Burkina Faso, s'appuie sur deux ou trois variables caractéristiques du débit. Nous utiliserons alors les équations de régressions linéaires suivantes qui sont valables pour le Burkina Faso (Tableau 6).

**Tableau 6 : Equations de régression linéaire utilisables pour le Burkina**

| Equation      | Formule du débit décennal                                       |
|---------------|---|
| Equation n°12 | $Q_{10} = 0,095 * S^{(0,643)} * Ig^{(0,406)} * Kr10^{(1,038)}$  |
| Equation n°41 | $Q_{10} = 0,407 * S^{(0,532)} * Kr10^{(0,941)}$                 |
| Equation n°42 | $Q_{10} = 0,0912 * S^{(0,643)} * Ig^{(0,399)} * Kr10^{(1,019)}$ |

 *Méthode de Gradex*

L'estimation des débits de pointe de la crue de période de retour supérieur à 10 ans a été faite selon la théorie de GRADEX. Le principe sur lequel se fonde cette méthode de calcul consiste à supposer qu'au-delà d'une certaine période de retour, toute pluie qui tombe ruisselle (principe de distribution statistique des pluies et des débits). La période de 10 ans, correspondant à la précipitation ayant engendré la crue décennale, est utilisée comme seuil. Ainsi, toute précipitation extrême au-delà de la décennale engendre un supplément de débit égal au supplément de pluie par rapport à la pluie décennale. Le supplément de débit se traduit par un coefficient multiplicateur C supérieur à 1.

Le coefficient majorateur, proposé par GRESILLON et al, en 1977 est basé sur la méthode du Gradex de GUILLOT et DUBAND [11], après une étude critique des différents coefficients proposés. Il est donné par la formule :

|  |   |
|--|---|
| $C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} * \left(\frac{T_{b10}}{24}\right)^{0.12} * \frac{1}{K_{r10}}$ | <p><b>C</b> : Coefficient majorateur ;<br/> <b>P<sub>10</sub></b> : Précipitation journalière maximale décennale en mm ;<br/> <b>P<sub>100</sub></b> : Précipitation journalière maximale centennale en mm ;<br/> <b>T<sub>b</sub></b> : Temps de base de crue décennale en Heures ;<br/> <b>K<sub>r10</sub></b> : coefficient de ruissellement décennal.</p> |
|--|---|

Ainsi, la crue centennale est :

|                              |   |
|------------------------------|---|
| $Q_{100} = C_{100} * Q_{10}$ | $Q_{100}$ : Débit centennal en m <sup>3</sup> /s ;<br>$C$ : Coefficient majorateur ;<br>$Q_{10}$ : débit de crue décennal en m <sup>3</sup> /s. |
|------------------------------|---|

#### 4.2.6.3. Hydrogramme de crues

Il donne l'évolution de la crue au cours du temps. L'hydrogramme de la crue du projet est un hydrogramme schématisé en trois tronçons linéaires construit avec les temps de base et de montée déterminés à l'aide des abaques de l'ORSTOM [12]. 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 :

|  |   |
|--|---|
| $Q_d = \frac{2 * Q_p * (T_{b10} - \alpha_{10} * T_{m10})}{\alpha_{10} * (T_{b10} - 2T_{m10})}$ | $Q_d$ : Débit de discontinuité (m <sup>3</sup> /s) ;<br>$Q_p$ : Débit de pointe (m <sup>3</sup> /s) ;<br>$T_b$ : Temps de base (min) ;<br>$T_m$ : Temps de montée (min) ;<br>$\alpha_{10}$ : Coefficient de pointe pris égal à 2,6. |
|--|---|

#### 4.2.6.4. Crue de sécurité et crue de rupture

##### Crue de Sécurité

Selon les recommandations du comité français des grands barrages la crue de sécurité d'un barrage est celle correspondant à une crue d'une période de retour définie par la relation  $H^2\sqrt{V}$  [10]. Dans ce projet, la crue sécurité a une période de retour 1000 ans et a été calculée avec la méthode du Gradex.

##### Crue de rupture

La crue de rupture est la crue qu'un barrage doit supporter dans les conditions exceptionnelles tout en présentant un fonctionnement sûr. Selon le Comité International des Grands Barrages (CIGB), la crue de rupture d'un barrage peut être approchée par la formule suivante :

|   |  |
|---|--|
| $Q_{rupt} = 2 * l * (a + 0.2)^{1.5} + 0.15 * L$ | $l$ = Longueur du déversoir ;<br>$L$ = Longueur de la digue sans déversoir ;<br>$a$ = Revanche total ;<br>$Q_{rupt}$ : la crue de rupture. |
|---|--|

#### 4.2.6.5. 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. La formule ci-dessous permet d'estimer les apports.

|   |   |
|---|---|
| $V = K_e * S * p = S * Le$ $K_e = \frac{Le}{P}$ | <p>V : volume en m<sup>3</sup> ;</p> <p>Ke : Coefficient d'écoulement ;</p> <p>S : Superficie du bassin versant km<sup>2</sup> ;</p> <p>P : Pluviométrie annuelle (mm) ;</p> <p>Le : lame écoulée (mm).</p> |
|---|---|

Plusieurs méthodes permettent de déterminer le coefficient d'écoulement  $K_e$  ou directement la lame écoulée. Dans le cadre de notre étude, nous avons fait appel à deux méthodes : la méthode dite de Rodier et celle de Coutagne.

##### Méthode du déficit d'écoulement de Coutagne

Selon **Coutagne**, la lame ruisselée est le reste de la pluie déduite du déficit d'écoulement (D) dont l'estimation est la suivante :

|   |   |
|---|---|
| $D = P - Q$ $D = P - \lambda P^2 \text{ avec } \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 * T}$ <p>et <math>P(m) \in \left[ \frac{1}{8\lambda}; \frac{1}{2\lambda} \right]</math></p> <p>si <math>P(m) &lt; \frac{1}{8\lambda}</math>, alors <math>D = P</math> et <math>Q = 0</math></p> <p>si <math>P(m) &gt; \frac{1}{2\lambda}</math>, alors <math>D = \frac{1}{4\lambda}</math></p> | <p>D : déficit d'écoulement en (m) ;</p> <p>P : précipitation annuelle (m) ;</p> <p>Q : écoulement annuel (m) ;</p> <p>T : température moyenne annuelle (°C).</p> |
|---|---|

En plus des apports en année moyenne, il est important de déterminer les apports en année quinquennale sèche voir décennale pour s'assurer du remplissage de l'ouvrage. Pour passer du coefficient d'écoulement annuel aux coefficients d'écoulement en année sèche, l'Office National des Barrages et des Aménagements hydrauliques du Burkina propose la relation suivante [13] :

|  |  |
|--|--|
| $K_{e5} = 0,7 * K_e$ $K_{e10} = 0,5 * K_e$ | <p><math>K_e</math> : coefficient d'écoulement annuel de Coutagne ;</p> <p><math>K_{e5}</math> : coefficient d'écoulement en année quinquennale sèche ;</p> <p><math>K_{e10}</math> : coefficient d'écoulement en année décennale sèche.</p> |
|--|--|

### *Méthode RODIER (1975)*

Pour les petits bassins versants non jaugés de l’Afrique sahélienne et tropicale, Rodier décrit une méthode pour l’estimation des apports liquides [9]. Cette méthode utilise en plus des formules et des abaques de bassins versants de comparaison, deux paramètres que sont : la pluie médiane et la lame d’eau ruisselée. Elle se fonde sur le concept de « bassin type ».

Un ensemble des bassins expérimentaux pour lesquels des informations étaient disponibles a été classé en fonction du régime hydrologique, de la superficie du bassin, des caractéristiques et de la physiographie du terrain. La méthode consiste à identifier, dans le lot des bassins types, celui ayant les caractéristiques les plus voisines du bassin étudié pour estimer les écoulements de ce dernier. Avec les caractéristiques de notre bassin versant, le bassin versant type de comparaison peut être celui de Garagara ouest. L’utilisation des abaques dans le bulletin FAO N°54 pour l’estimation des crues de projet permet de déterminer directement la lame d’eau ruisselante selon les fréquences données.

## 4.2.7. Etude de la cuvette

### 4.2.7.1. Estimation des besoins

L’évaluation des besoins en eau a consisté à déterminer par secteur d’activités les demandes prévisionnelles en quantité d’eau.

#### *Besoins en eau agricoles*

L’agriculture constitue la première activité de la commune de Zitenga, actuellement pratiquée en saison pluvieuse. Avec la construction du barrage, les populations pourront y associer des cultures de campagne sèche. Nous évaluerons les besoins en eau d’une superficie 20 ha qui sera aménagée à l’aval du barrage. Cette évaluation se fera en fonction de la culture la plus contraignante qui est l’oignon et les besoins bruts seront estimés à partir des relations suivantes :

|  |   |
|--|---|
| $P_e = 0,8 * P \text{ si } P \geq 20$ $P_e = P \text{ si } P < 20$ $B_n = K_c * ET_0 - P_e$ $B_b \frac{B_n}{e}$ $B_t = 10 * B_b * S$ | <p>ET<sub>0</sub> : Evapotranspiration de référence (mm) ;</p> <p>E : Efficience du système d’irrigation ;</p> <p>K<sub>c</sub> : Coefficient culturaux ;</p> <p>B<sub>n</sub> : Besoins nets (mm);</p> <p>(S) : surface totale à irriguer (ha) ;</p> <p>P : Pluie mensuelle (mm) ;</p> <p>Pe : Pluie efficace du mois (mm) ;</p> <p>B<sub>t</sub> : Besoin total du périmètre (m<sup>3</sup>).</p> |
|--|---|

Le logiciel Cropwat a été utilisé afin de déterminer les Kc. La campagne sèche s'étale de début décembre à fin avril.

#### Besoins pastoraux

L'étude socio-économique a permis de dénombrer environ **3 446** gros ruminants et **13 727** petits ruminants soit un équivalent de **6189** Unité de Bétail Tropical (UBT) au total. Nous avons choisi une valeur de 40 litres par jour comme consommation spécifique d'une UBT. Les prélèvements pour le pastoralisme se font tout au long de la saison sèche (début novembre à fin mai). La demande journalière est donnée par :

|                       |   |
|-----------------------|---|
| $C_J = C_S * n_{UBT}$ | $C_J$ : consommation journalière du cheptel ;<br>$C_S$ : Consommation spécifique d'une UBT ;<br>$n_{UBT}$ : nombre d'unité de bétail. |
|-----------------------|---|

#### Besoins domestiques

Selon l'inventaire national des ouvrages [13], le taux d'accès à l'eau potable est 84% dans la zone du projet. La population est estimée en 2019 à **6 408** habitants avec un taux d'accroissement de 3,1%. Pour tenir compte de cette situation, nous avons prévu un prélèvement forfaitaire de 20 litres par habitant et par jour au niveau de la retenue. La population à l'horizon du projet a été estimée par projection statistique grâce à la population actuelle ( $P_0$ ) et le taux d'accroissement de celle-ci ( $\alpha$ ). L'horizon du projet étant fixé à 30 ans. Les besoins domestiques ont été obtenus par les relations suivantes.

|  |  |
|--|--|
| $P_n = P_0 * (1 + \alpha)^n$<br><br>$C_{Jn} = C_j * P_n$ | $P_0$ : la population initiale ;<br>$n$ : le nombre d'année ;<br>$P_n$ : la population à l'horizon du projet ;<br>$\alpha$ : taux d'accroissement de la population ;<br>$C_{Jn}$ : la consommation journalière des populations (L) ;<br>$C_j$ : la consommation spécifique par habitant (L). |
|--|--|

#### 4.2.7.2. Estimation des pertes

Le plan d'eau de la future retenue subira un certain nombre de perte. Leur évaluation permet de déterminer le volume utile de la retenue et de simuler l'utilisation des eaux stockées. Nous distinguons les pertes par évaporation, infiltration et les dépôts solides qui influent sur la courbe hauteur-volume.

#### Estimation des pertes par évaporation

Les pertes par évaporation exprimées sont liées à la surface du plan d'eau et dépendent de la durée de l'ensoleillement, l'exposition au vent, le déficit de saturation de l'air, la présence de végétation aquatique, la profondeur de la retenue, etc. C'est un facteur déterminant au Burkina Faso qui impose une certaine profondeur à chaque retenue d'eau. D'où la nécessité de rechercher des sites encaissés pour conserver le maximum d'eau pour les besoins. Pour estimer ces pertes, un échantillon sur 35 ans (1980-2014) des données d'observation du bac d'évaporation de classe A de Ouaga aéroport a été utilisé.

Selon POUYAUD [14], le passage de l'évaporation BAC A à celui du plan d'eau libre nécessite une conversion au moyen d'une équation qu'il a proposée à l'issue de ses travaux sur le lac Bam et la marre d'Oursi. Cette formule établie au pas de temps journalier est la suivante :

|   |  |
|---|--|
| $E_{ret} = 1,664 \times E_{bacA}^{0,602}$ | $E_{ret}$ : Évaporation en mm/j ;<br>$E_{bacA}$ : évaporation BAC A en mm/j. |
|---|--|

#### Estimation des pertes par infiltration

Le bassin versant est relativement imperméable donc la cuvette présente une certaine perméabilité. Au regard de l'insuffisance de l'information statique sur l'infiltration dans la zone du projet, nous allons nous limiter aux valeurs usuelles utilisées généralement au Burkina. Elles correspondent à une fourchette de 1 à 3 mm/j en moyenne ou 10% de la hauteur utile (hu) de la retenue en phase d'avant-projet.

Il est nécessaire de préciser que l'infiltration diminue considérablement avec le temps au fur et à mesure du dépôt des argiles colloïdales.

Nous retiendrons une perte d'infiltration moyenne de 2 mm/j pendant les trois premières années tout en émettant l'hypothèse qu'à partir de la quatrième année l'infiltration sera négligeable suite au colmatage de la cuvette du barrage.

#### Estimation des pertes par dépôts solides

L'eau de ruissellement entraîne avec elle des matériaux solides qu'elle arrache le long de son parcours. Lorsque la vitesse d'écoulement de l'eau n'atteint plus un certain seuil, ces matériaux se déposent. Le calcul des dépôts solides permettra de quantifier l'arrivée de ces matériaux dans la retenue. Pour l'estimation de ces dépôts, il existe plusieurs formules empiriques de calcul dont celui de CIEH-EIER (GRESILLON), GOTTSCHALK et KARAMBIRI (ou GRESILLON modifiée) [15].

**Tableau 7 : Formules empiriques pour l'estimation des dépôts solides**

|                       |   |
|-----------------------|---|
| CIEH-EIER (GRESILLON) | $D = 700 * \left(\frac{P}{500}\right)^{-2.2} * S^{-0.1}$  |
| GOTTSCHALK (USA)      | $D = 260 * S^{-0.1}$  |
| KARAMBIRI             | $D = 137 ** \left(\frac{P}{700}\right)^{-2,2} * S^{-0,05} * [0,25 + 1,13 * (h + r)]$  |
| Avec $V = D \times S$ | <p>D : dégradation spécifique annuelle en m<sup>3</sup> / km<sup>2</sup> / an ;</p> <p>P : pluie moyenne annuelle (mm) ;</p> <p>S : superficie du bassin km<sup>2</sup> ;</p> <p>V : volume annuel de dépôts ;</p> <p>h : paramètre anthropique ;</p> <p>r : paramètre morphologique.</p> |

#### 4.2.7.3. Courbe Hauteur-Volume et surface

Le plan topographique de la cuvette qui a été établi a permis de réaliser les courbes hauteurs volume et hauteur surface. Elles donnent les différents volumes d'eau et les surfaces pour chaque courbe de niveau de la retenue projetée. Pour une côte donnée, la surface du plan d'eau et le volume de la retenue associés à cette côte ont été directement calculés à l'aide de l'outil SIG (ArcGIS).

#### 4.2.7.4. Calage du Plan d'Eau Normal (PEN)

L'essentiel du territoire burkinabè présente une topographie avec des pentes assez faibles. Cette situation rend difficile l'identification de sites encaissés adaptés à la réalisation de barrage de grande capacité et présentant moins d'impacts environnementaux. Les plans d'eau peu profondes à l'amont des barrages s'étendent le plus souvent sur de grands espaces et sont soumis à une forte évaporation. Pour éviter de réaliser des ouvrages dont les quantités d'eau mobilisées sont susceptibles d'être perdues par évaporation, la DGIH a souhaité à travers les termes de références que les consultants puissent rechercher des sites capables de mobiliser au minimum 1 000 000 m<sup>3</sup> d'eau. Le calage du Plan d'Eau Normal étant un facteur déterminant de la capacité de stockage de la retenue, nous avons calé celui de notre barrage de sorte à ce que le volume d'eau à stocker permette la satisfaction des besoins, même en période sèche.

#### 4.2.7.6. **Lame d'eau déversant**

La lame d'eau déversant au-dessus de seuil sera prise conformément à la recommandation de COMPAORE [12], qui place la plage de lame d'eau entre 0,6 et 1,5 m.

#### 4.2.7.7. **Calage des Plus Hautes Eaux (PHE)**

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

|                 |   |
|-----------------|---|
| $PHE = PEN + h$ | PHE : Plan des Hautes Eaux (m) ;<br>PEN : Plan d'Eau Normal (m) ;<br>h : la charge de l'eau au-dessus du seuil (m). |
|-----------------|---|

#### 4.2.7.8. **Courbe d'exploitation**

Etablie à partir de la courbe hauteur volume de la retenue, elle donne un aperçu de l'évolution du stock d'eau en fonction des périodes (mois) tout en prenant en compte les pertes (infiltration, évaporation) ainsi que les besoins en eau (pastoral, domestique et agricole) en partant de la date de retenue pleine et de la fin de la saison des pluies.

### 4.2.8. **Evacuateur de crue**

#### 4.2.8.1. **Typologie et position de l'évacuateur de crue**

Un barrage, s'il retient les écoulements, doit aussi conserver la faculté d'évacuer les crues exceptionnelles. On prévoit alors un organe d'évacuation à fonctionnement automatique appelé évacuateur de crues [11]. Il existe principalement deux familles d'évacuateur de crue: les évacuateurs de surface et les évacuateurs en charge. Les évacuateurs à surface libre se répartissent en deux groupes suivants leur angle de déversement qui peut être frontal ou latéral. Le choix du type de déversoir ainsi que sa position se fait en fonction de la topographie, de la géotechnique, de la disponibilité en matériaux et de main d'œuvre, du coût de réalisation et surtout de l'utilisation de l'aval du barrage. En intégrant toutes ces dimensions, nous avons proposé un évacuateur à surface libre et en béton. Il est en position centrale compte tenue de la configuration des terres disponibles à l'aval pour l'aménagement.

#### 4.2.8.2. **Conception de l'évacuateur de crue**

La longueur du seuil a été déterminée par le laminage avec l'hypothèse de l'arrivée de la crue de projet au moment où le niveau d'eau dans la retenue atteint le PEN. L'objectif de calcul est de définir deux paramètres qui sont :

- ✓ La longueur du seuil déversant ;

- ✓ La lame d'eau maximale passant par-dessus du seuil déversant.

Par la méthode de laminage, il est possible de fixer une longueur du seuil déversant, et de déterminer par itération la lame d'eau déversant ou inversement.

#### 🚧 Laminage de crue

En général, on ne dimensionne pas un déversoir pour évacuer la totalité de la crue de projet car cela conduit à un surdimensionnement [11]. Nous prendrons en compte le phénomène de laminage qui fait que la crue qui passe à l'exutoire est moindre par rapport à celle qui arrive à l'entrée de la cuvette sans augmenter le risque de submersion du barrage. La méthode la plus couramment utilisée pour le laminage est la méthode de  $X_0$  ou méthode EIER-CIEH. En plus de cette dernière, nous avons utilisé la méthode de l'équation de continuité.

- Laminage par la méthode EIER-CIEH ou méthode du  $x_0$

C'est une méthode itérative pour la détermination de la longueur d'un déversoir en fonctionnement dénoyé. L'effet de laminage est sous la forme d'un coefficient  $\beta$  représentant le rapport entre le débit de crue et le débit évacué. La valeur de  $\beta$  est liée à une grandeur  $X_0$  par un abaque.  $X_0$  est liée au débit évacué et la longueur du déversoir par les relations ci-dessous :

|   |  |
|---|--|
| $X_0 = \frac{m^2 \times g \times L^2 \times Q_{cmax} \times t_m^3}{s^3}$ $Q_{cmax} = mL\sqrt{2gh^2}^3$ $L_{approchée} = \frac{Q_{crue}}{m\sqrt{2gh^2}^3}$ $\beta = \frac{Q_{emax}}{Q_{cmax}}$ | <p><math>m</math> : coefficient de débit ;</p> <p><math>h</math> : charge au-dessus du déversoir ;</p> <p><math>L</math> : longueur du déversoir en m ;</p> <p><math>S</math> : Superficie de la retenue m<sup>2</sup> ;</p> <p><math>Q_{emax}</math> : le débit maximum évacué ;</p> <p><math>L_{approchée}</math> : Longueur approchée en m ;</p> <p><math>Q_{cmax}</math> Débit de projet en m<sup>3</sup>/s ;</p> <p><math>g</math> : accélération de la pesanteur en m/s<sup>2</sup>.</p> |
|---|--|

- Laminage par l'équation de continuité (Abaques)

Elle est basée sur les entrées et les sorties dans la retenue d'eau. Avec la forme arrondie (ou triangulaire) de l'hydrogramme de crue, on associe le débit  $Q_c$  de l'hydrogramme à une hauteur fictive  $Z_c$  sur le seuil et au débit de pointe  $Q_e$  de la crue laminée à la cote  $Z_e$ . L'utilisation des équations ci-dessous et à l'aide d'abaques a permis de déduire la valeur de  $Q_e$  et la longueur correspondante du déversoir.

|  |   |
|--|---|
| $\frac{A \cdot Z_e}{Q_c \cdot T_m} \text{ et } \frac{Z_e}{a} \text{ (abaque)}$ $Q_c = mL\sqrt{2g}Z_c^{\frac{3}{2}}$ $Q_e = mL\sqrt{2g}Z_e^{\frac{3}{2}}$ | <p>T<sub>m</sub> [s] : le temps de montée ;<br/>                 A [m<sup>2</sup>/s] : la surface du plan d'eau à la cote de déversement ;<br/>                 a [m] : la hauteur au-dessus du seuil tel qu'à cette hauteur la surface du plan d'eau passe à 2*A ;<br/>                 Q<sub>c</sub> : débit de l'hydrogramme ;<br/>                 Q<sub>e</sub> : débit de la crue laminée ;<br/>                 Z<sub>c</sub> : hauteur fictive associée à Q<sub>c</sub> ;<br/>                 Z<sub>e</sub> : hauteur de la lame sur seuil associé à Q<sub>e</sub> ;<br/>                 m : coefficient de débit ;<br/>                 L : longueur du déversoir en m ;<br/>                 g : accélération de la pesanteur en m/s<sup>2</sup>.</p> |
|--|---|

 Bassin de dissipation

Les eaux de crue qui passent au-dessus du seuil ont une importante énergie potentielle et cinétique au point d'impact au pied du déversoir; ce qui provoquerait une érosion avec des risques de dégradation et de destruction de l'ouvrage à terme. Il est alors nécessaire de prévoir un système de dissipation de cette énergie. Le procédé usuel est de créer un matelas d'eau dans un bassin (bassin de dissipation) qui amortit la chute de l'eau. Le type de bassin le plus utilisé est celui à ressaut hydraulique dont la forme et les caractéristiques dépendent du nombre de FROUDE (F) et de la vitesse de l'eau à l'entrée du bassin V<sub>1</sub>. Nous procéderons par la résolution d'un système d'équation issues de la relation de BERNOULLI qui va nous permettre de déterminer y<sub>1</sub> et V<sub>1</sub>. Soit le système d'équation de la vitesse et du tirant d'eau ci-dessous :

|   |   |
|---|---|
| $\begin{cases} V_1 = \sqrt{2g \times [0,9(H+h) - y_1]} \\ y_1 = \frac{Q_{cmax}}{L \cdot V_1} = \frac{q}{V_1} \\ Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g \times y_1}} \end{cases}$ | <p>H : hauteur du seuil (m) + D ;<br/>                 h : charge de l'eau sur le seuil (m) ;<br/>                 g : accélération de la pesanteur (m/s) ;<br/>                 q: débit spécifique (m/s) ;<br/>                 y<sub>1</sub> : Profondeur d'eau à l'entrée du bassin ;<br/>                 Fr : Nombre de Foudre ;<br/>                 V<sub>1</sub> : la vitesse à l'entrée du ressaut.</p> |
|---|---|

Les autres paramètres du bassin seront déterminés à l'aide des abaques et des formules ci-dessous.

|   |   |
|---|---|
| $y_2 = y_1 * [(\sqrt{8 * Fr^2} + 1) - 1]/2$ $R_{bassin} = 0,1 \times (y_2 + V_1)$ | <p><math>V_1</math> : la vitesse à l'entrée du ressaut ;</p> <p><math>R_{bassin}</math> : revanche du bassin ;</p> <p><math>y_2</math> : le tirant d'eau conjuguée ;</p> <p><math>Fr</math> : Nombre de Foudre ;</p> <p><math>y_1</math> : Profondeur d'eau à l'entrée du bassin.</p> |
|---|---|

#### *Chenal d'évacuation*

C'est l'ouvrage qui fait partie de l'évacuateur de crue, et qui a une section rectangulaire ou trapézoïdale avec une longueur rarement importante. Il doit avoir une pente assez faible et inférieur à la pente critique pour assurer un écoulement fluvial [15]. Dans notre cas nous avons opté pour un canal rectangulaire.

Le calcul hydraulique du chenal permet de déterminer la hauteur du tirant d'eau tout au long de celui-ci pour le bon dimensionnement des murs et assurer le non débordement des eaux. La méthode de variation des profondeurs sera utilisée pour la détermination des paramètres suivants :

- ✓ La hauteur critique donnée par  $h_c = \sqrt[3]{\frac{1}{9,81} \left(\frac{Q}{b}\right)^2}$
- ✓ La hauteur normale. Elle est déduite à partir de l'équation à surface libre donnée par :

|   |   |
|---|---|
| $Q = Ks \frac{(y(b + my_n))^{5/3}}{(b + 2my_n)^{2/3}} \sqrt{I}$ | <p><math>Q</math>:Débit de crues en m<sup>3</sup>/s ;</p> <p><math>Y_n</math> : tirant d'eau normal en m ;</p> <p><math>I</math> : pente de 2/1000 ;</p> <p><math>m</math> : fruit de berges, pris égal à 1 ;</p> <p><math>b</math> : base du Chenal.</p> |
|---|---|

Compte tenu de la position quasi frontale du déversoir, l'eau de crue est restituée directement à la rivière. Le chenal n'est donc pas nécessaire à priori. Toutefois, un léger décaissement du lit faisant office de chenal de restitution a été préconisé immédiatement à la sortie du bassin de dissipation pour assurer la restitution des eaux de déversement des crues à l'aval.

#### 4.2.8.4. Stabilité du déversoir

✚ Bilan des forces agissant sur l'évacuateur de crue

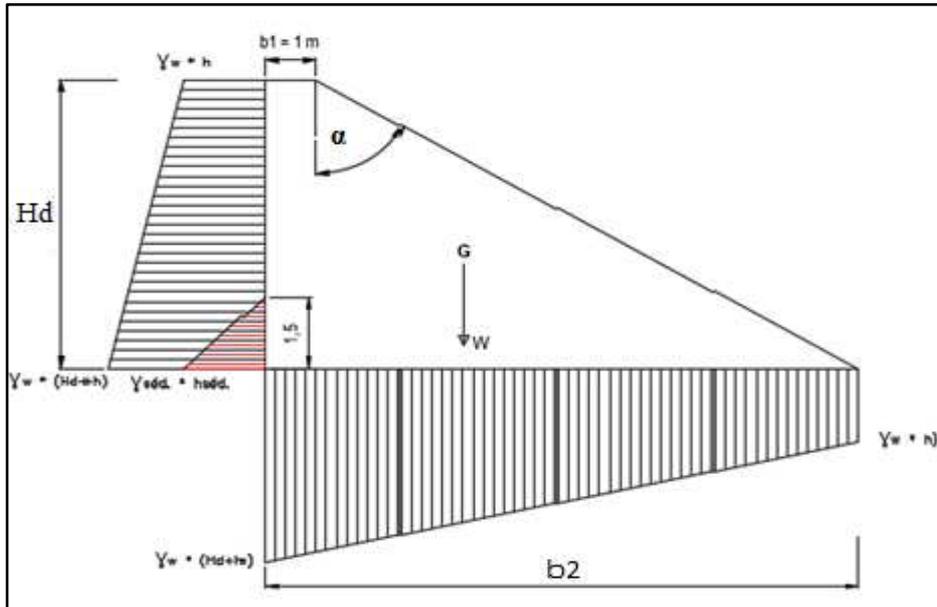


Figure 4 : illustration des forces agissant sur le déversoir

✓ Poids propre de l'évacuateur de crue (W)

Le poids propre de l'évacuateur de crue est classé parmi les actions stabilisantes. En décomposant la section du déversoir en éléments simples tels que des triangles ou carrés, l'ensemble du poids propre est déterminé par la formule :

|                         |   |
|-------------------------|---|
| $W = \gamma_b \times S$ | <p><b>W</b> : Poids du déversoir ;</p> <p><b>S</b> : Surface ;</p> <p><math>\gamma_b</math>: Poids volumique du béton =24 kN/m<sup>3</sup>.</p> |
|-------------------------|---|

✓ La poussée hydrostatique externe (Pe)

L'action de l'eau à l'amont sur l'évacuateur qui tend à le pousser vers l'aval se définit comme étant la poussée hydrostatique externe. L'action de l'eau exerce une pression considérable sur le déversoir. A l'aval cette pression est plutôt stabilisante. La poussée hydrostatique externe d'un déversoir de hauteur H soumis à une lame déversant h s'obtient par :

|  |  |
|--|--|
| $P_e = \frac{1}{2} \gamma_w H(H + 2h)$ | <p><math>\gamma_w</math>: Poids volumique de l'eau =10 kN/m<sup>3</sup>;</p> <p><b>H</b> : Hauteur du barrage en m ;</p> <p><b>h</b> : charge au-dessus du déversoir en m ;</p> <p><b>Pe</b>: Poussée hydrostatique externe.</p> |
|--|--|

✓ La poussée des sédiments (Pt)

C'est la pression exercée par les sédiments accumulés à l'amont de l'ouvrage. Elle est quasi identique à la poussée hydrostatique. Elle se calcule avec la formule suivante :

|   |  |
|---|--|
| $P_t = \frac{1}{2} \gamma_i h^2 \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$ | <p><math>P_t</math> : Poussée des terres ;<br/> <math>\gamma_i</math> : Poids volumique des terres 20 kN/m<sup>3</sup> ;<br/> <math>\phi</math> : angle de frottement interne ;<br/> <math>h</math> : hauteur des sédiments.</p> |
|---|--|

✓ La pression hydrostatique interne (U)

Elle représente l'action de l'eau sous le déversoir qui tend à le soulever. Dans le but de tenir compte des effets de cette pression, un système de drain devra être installé. Au niveau de l'amont, la pression équivaut à :

|  |   |
|--|---|
| $U = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times b_2 \times (2 \times h + H_r)$ | <p><math>\gamma_w</math> : Poids volumique de l'eau ;<br/> <math>H_r</math> : Hauteur du barrage ;<br/> <math>h</math> : charge au-dessus du déversoir ;<br/> <math>U</math> : pression hydrostatique interne ;<br/> <math>b_2 = 1 + H_r * \tan(\alpha)</math>.</p> |
|--|---|

✚ Stabilité externe

L'étude de la stabilité externe de l'évacuateur de crue se base sur les stabilités au glissement et renversement ainsi que le poinçonnement.

✓ Vérification au Non glissement

Les forces horizontales telles que la poussée de l'eau et celle des terres qui s'exercent sur le barrage tant à le pousser vers l'aval. L'ouvrage résiste grâce à son poids. Le rapport entre les forces horizontales et les forces verticales que subit l'ouvrage détermine sa stabilité.

Le facteur de sécurité au non glissement s'exprime par :

|  |   |
|--|---|
| $F_{sécglis} = \frac{W - U}{Pe + Pt} \tan \phi \geq 1,2$ | <p>Tan (<math>\phi</math>)= 0,65 ;<br/> <math>W</math> : Poids du déversoir ;<br/> <math>F_{sécglis}</math> : facteur de sécurité au glissement ;<br/> <math>U</math> : Sous pression interstitielle ;<br/> <math>Pe</math> : poussée de l'eau.</p> |
|--|---|

✓ Vérification au non renversement

Le non renversement se vérifie par le rapport entre la somme des moments résistants et celle des moments renversants. Son facteur de sécurité s'exprime par :

|  |  |
|--|--|
| $F_{sécrenv} = \frac{m_{/B}(W - U)}{m_{/B}(Pe + Pt)} \geq 1,5$ | <p><b>W</b> : Poids du déversoir ;</p> <p><b>F<sub>sécrenv</sub></b> : facteur de sécurité au glissement ;</p> <p><b>U</b> : Sous pression interstitielle ;</p> <p><b>Pe</b> : Poussée de l'eau.</p> |
|--|--|

✚ Stabilité interne

La stabilité interne est régie par la condition de non rupture dans l'ouvrage et aussi la condition de non fissuration.

✓ Condition de non fissuration

Elle est garantie par le respect de la règle du tiers central.

|  |   |
|--|---|
| $-\frac{b}{6} \leq e \leq \frac{b}{6}$ | <p><b>e</b> : excentricité (distance horizontale entre la résultante des forces et le centre de gravité de la base du déversoir) ;</p> <p><b>b</b> : base du déversoir.</p> |
|--|---|

✓ Condition de non rupture

L'évacuateur de crue doit sa condition de non rupture à la valeur de la contrainte minimale et celle de la contrainte maximale. Il faut que la contrainte minimale soit forcément positive ( $\sigma_{min} > 0$ ) dans le même temps, la contrainte maximale soit inférieure à la contrainte limite du béton ( $\sigma_{max} < \sigma_{béton}$ ).

|   |   |
|---|---|
| $\sigma_{max} = \left(\frac{W - U}{b}\right) \times \left(1 + \frac{6e}{b}\right)$ $\sigma_{béton} = 0,3 \times fc28$ | <p><b>W</b> : Poids du déversoir</p> <p><b>e</b> : excentricité</p> <p><b>U</b> : Sous pression interstitielle</p> <p><b><math>\sigma_{béton}</math></b> : contrainte du béton</p> <p><b><math>\sigma_{max}</math></b> : contrainte maximale</p> <p><b>Fc28</b> : résistance caractéristique du béton en 28 jours</p> |
|---|---|

## 4.2.9. Conception générale du barrage

### 4.2.9.1. Typologie et choix de type de barrage

Lors de la recherche et de la sélection des sites, le projeteur doit réfléchir aux différents types d'ouvrages envisageables, au vu des conditions et contraintes locales qu'il aura relevées [11]. En effet, on peut classer les barrages en deux catégories à savoir les barrages en remblai et les barrages rigides. Les barrages rigides regroupent les barrages poids, les barrages à contreforts et les barrages à voûte. Dans les barrages en remblai on distingue les barrages en terre (homogène ou à zones), les barrages en enrochement et les barrages en gabion. Les barrages en remblai sont ceux qui s'adaptent le plus au contexte africain [11]. La morphologie de la zone et de la disponibilité des matériaux jouent un rôle important dans le choix du site et du type de barrage à implanter. Dans le cadre de ce projet, nous avons opté pour un barrage en terre homogène au regard des aspects géologiques, géotechniques et économiques.

### 4.2.9.2. Etude de la digue

#### Calage de la digue

La hauteur de la digue est égale à la hauteur normale de la retenue, majorée de la charge maximale au-dessus du déversoir et de la revanche [12]. Elle est donnée par l'équation ci-dessous :

|                     |  |
|---------------------|--|
| $H_B = H_r + h + R$ | <p>HB : hauteur totale du barrage (m) ;</p> <p>Hr : hauteur du déversoir (m) ;</p> <p>H : charge au-dessus du déversoir (m) ;</p> <p>R : revanche (m).</p> |
|---------------------|--|

#### Largeur en crête

La largeur en crête est dimensionnée en tenant compte de la circulation des engins lors des travaux. Des formules empiriques permettent de déterminer cette largeur, dans la pratique la largeur en crête  $L_c$  est supérieure à trois (03) mètre.

**Tableau 8 : Détermination de la largeur en crête de la digue**

|                 |                                 |   |
|-----------------|---------------------------------|---|
| KNAPPEN         | $L_C = 1.65 * \sqrt[2]{H_B}$    | L <sub>c</sub> = largeur en crête (m) ;<br>H <sub>B</sub> = Hauteur de digue (m). |
| PREECE          | $L_C = 1.1 * \sqrt[2]{H_B} + 1$ |   |
| Autres formules | $L_C = 3.6 * \sqrt[3]{H_B} - 3$ |   |

 *Largeur en base*

Nous avons retenu une digue de forme trapézoïdale donc la formule de calcul de la largeur en base est la suivante :

|  |   |
|--|---|
| $L_B = L_C + (m_{amont} + m_{aval}) * H_B$ | L <sub>c</sub> : largeur en crête (m) ;<br>H <sub>B</sub> : Hauteur de digue (m) ;<br><i>m<sub>amont</sub> et m<sub>aval</sub></i> : respectivement le fruit amont et fruit aval. |
|--|---|

 *Détermination de la revanche sur le déversoir*

La revanche est la différence entre la côte des Plus Hautes Eaux (PHE) et celle de la crête de la digue. Elle 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. Les formules suivantes ont été utilisées pour le calcul de la revanche (Tableau 9).

**Tableau 9 : Détermination de la revanche libre sur le déversoir**

|                    |                                    |  |
|--------------------|------------------------------------|--|
| Mallet et Pacquant | $R = A * (h + \frac{V^2}{2 * g})$  | R : revanche libre ;<br>A : coefficient de sécurité ;<br>h : hauteur des vagues en m ; |
| Gaillard           | $R = 0.75 * h + \frac{V^2}{2 * g}$ | V : vitesse de propagation des vagues en (m/s) ;<br>g : accélération de la pesanteur ; |
| Autres formules    | $R = 1 + 0.3 * \sqrt[2]{f}$        | f : fetch en (km).   |

 *Pentes des talus de la digue*

Les pentes des talus sont fixées par les conditions de stabilités mécaniques du massif et de ses fondations. Les fruits des talus ont été fixés conformément au Tableau 10 .

**Tableau 10: 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 |
|                    | à zones                              | 1 / 2           | 1 / 2,5 |
| 10 à 20 m          | Homogènes, granulométrie étendue     | 1 / 2,5         | 1 / 2,5 |
|                    | Homogène à fort pourcentage d'argile | 1 / 3           | 1 / 2,5 |
|                    | à zones                              | 1 / 2           | 1 / 3   |

Source [11]

#### 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. Le débit de fuite noté  $q$  des infiltrations est lié à l'équation de cette parabole par les relations suivantes :

|  |  |
|--|--|
| $y^2 + y_0^2 - 2xy_0 = 0$ $y_0^2 = \sqrt{h^2 + d^2} + d$ $q = K_r * y_0$ | $y_0$ : Points d'intersection de l'axe des ordonnées avec la parabole de KOZENY ;<br>$h$ : tirant d'eau à l'amont en m ;<br>$d$ : largeur en base du barrage diminuée de $0,7*b$ ;<br>$b$ : fruit du talus amont * hauteur du déversoir ;<br>$q$ : Débit de fuite par mètre linéaire ;<br>$K_r$ : Perméabilité du remblai. |
|--|--|

#### Filtre et drain

Pour intercepter les infiltrations dans le massif d'un barrage, on dispose habituellement dans la partie aval du massif et au contact de celui-ci avec les fondations, un drain tapis filtrant destiné à rabattre la ligne phréatique à l'intérieur du massif. Lorsque la fondation n'est pas complètement imperméable, ce drain interceptera les infiltrations à travers la fondation. Un drain vertical placé au centre de la digue constitue une solution plus efficace pour intercepter les eaux d'infiltration. Un tel drain est constitué d'un rideau d'une largeur (épaisseur) minimale. L'eau de percolation interceptée par ce drain filtrant est évacuée soit par un réseau de tuyaux-

drain soit par un drain tapis filtrant, s'il est également nécessaire de drainer les fondations. Les caractéristiques du drain sont déterminées par les formules ci-dessous :

|  |  |
|--|--|
| $e = \sqrt{\frac{q * l_d}{K_d}}$ $l_d = \frac{l_b}{4}$ | <p>e : Epaisseur du drain (m) ;<br/>                 q: Débit de fuite par mètre linéaire ;<br/>                 l<sub>d</sub> : Longueur du drain (m) ;<br/>                 K<sub>d</sub> : Perméabilité du drain en m/s ;<br/>                 l<sub>b</sub> : Largeur en base de la digue (m).</p> |
|--|--|

#### Protection des talus

La protection des talus se fera par des enrochements dont l'épaisseur est déterminée par la formule suivante :

|                          |  |
|--------------------------|--|
| $e (m) = 1,5 \times D50$ | <p>e : épaisseur des enrochements ;<br/>                 D<sub>50</sub> est fonction de la hauteur des vagues.</p> |
|--------------------------|--|

Le Tableau 11 donne les valeurs de D50 en fonction de la hauteur des vagues.

**Tableau 11: Valeurs de D50 en fonction de la hauteur des vagues**

| h <sub>vague</sub> | D <sub>50</sub> |
|--------------------|-----------------|
| <b>0 à 0,3</b>     | 0,2             |
| <b>0,3 à 0,6</b>   | 0,25            |
| <b>0,6 à 1,2</b>   | 0,3             |
| <b>1,2 à 1,8</b>   | 0,4             |
| <b>1,8 à 2,4</b>   | 0,45            |
| <b>2,4 à 3</b>     | 0,55            |

Source : [15]

### 4.2.9.3. Stabilité des talus

La stabilité d'un barrage en terre est celle de la stabilité de son talus amont et de son talus aval sur sa fondation [12]. La méthode du cercle de glissement de Bishop a été utilisée pour l'étude de la stabilité des pentes sur GEOSLOPE avec la détermination du facteur de sécurité dans le cas le plus défavorable (c'est-à-dire lorsque la retenue est pleine). Il a été retenu un coefficient de sécurité supérieur à 1,5 pour le talus amont et un coefficient supérieur à 1,6 pour le talus aval [16].

#### 4.2.10. Murs bajoyers

Pour éviter des affouillements au niveau de la jonction de la digue en terre et du déversoir, des murs bajoyers sont indispensables. Nous avons dimensionné les murs bajoyers à l'aide du logiciel CYPE 2014. Par la suite nous avons vérifié leur stabilité sur Excel.

#### 4.2.11. Ouvrage de prise et de vidange

Un ouvrage de prise destiné à l'utilisation de la retenue est indispensable pour assurer l'irrigation complémentaire ou de contre saison du périmètre aménageable et l'élevage. A côté de cette prise, nous envisageons l'implantation d'un ouvrage de vidange qui va permettre la vidange partielle ou complète du barrage en cas de danger ou de nécessité. Nous avons opté pour une conduite mixte. Le diamètre de la conduite a été déterminé suivant la formule d'écoulement en charge par orifice de Torricelli.

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| $Q = C * S \sqrt{2g\Delta H}$ | <p><b>Q</b> : débit évacué (ou prélevé) en m<sup>3</sup>/s ;<br/> <b>S</b> : section de la galerie = <math>\pi D^2/4</math> m<sup>2</sup> ;<br/> <b>g</b> : accélération de la pesanteur en m/s<sup>2</sup> ;<br/> <b>H</b> : la charge d'eau au-dessus de l'orifice en m ;<br/> <b>C</b>: coefficient de contraction pris égal à 0,8.</p> |
|-------------------------------|--|

La construction de deux écrans anti-renard en béton armé d'une hauteur de 2,5 m chacun et espacés de 6 m est prévue le long de la conduite.

#### 4.2.12. Disposition d'auscultation et surveillance du barrage

Par auscultation, il faut comprendre le dispositif de sécurité, de surveillance et d'entretien du barrage. Le dispositif retenu est celui de suivi du niveau d'eau dans la retenue et du niveau de la nappe à l'aval de la digue. Il est composé d'échelles limnométriques et de piézomètres. Les éléments d'échelle sont à fixer sur le talus amont de la digue au niveau de la prise.

#### 4.2.13. Notice d'impacts environnementaux et sociaux

La mise en œuvre de ce projet aura sans doute des effets néfastes et positifs sur le milieu récepteur. Ainsi, nous avons identifié les impacts des activités du projet grâce à la matrice de LEOPOLE et nous les avons évalués avec la grille d'évaluation de FECTEAU.

#### 4.2.14. Devis estimatif et quantitatif de la construction du barrage

L'évaluation du coût du projet a été faite conformément aux orientations de la mercuriale des prix du secteur des bâtiments et travaux publics du Burkina [17].

## V. RESULTATS ET DISCUSSION

### 5.1. Études topographiques et géotechniques

#### 5.1.1. Études topographiques

Les études topographiques ont permis de dresser le

Tableau 12 en plus de la matérialisation de l'axe de la digue.

**Tableau 12 : Données topographiques de la cuvette**

| Cote (m)      | Surface (m <sup>2</sup> ) | Surface (ha) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Volume en (Millier m <sup>3</sup> ) |
|---------------|---------------------------|--------------|--------------------------|-------------------------------------|
| <b>281</b>    | 132,94                    | 0,01         | 8,77                     | 0,01                                |
| <b>281,50</b> | 1 420,99                  | 0,14         | 342,22                   | 0,34                                |
| <b>282,00</b> | 3 923,59                  | 0,39         | 1 533,22                 | 1,53                                |
| <b>282,50</b> | 14 275,60                 | 1,43         | 5 511,74                 | 5,51                                |
| <b>283,00</b> | 66 636,22                 | 6,66         | 23 685,26                | 23,69                               |
| <b>283,50</b> | 144 266,16                | 14,43        | 78 345,56                | 78,35                               |
| <b>284,00</b> | 230 830,34                | 23,08        | 172 585,67               | 172,59                              |
| <b>284,50</b> | 350 946,56                | 35,09        | 315 858,07               | 315,86                              |
| <b>285,00</b> | 514 406,33                | 51,44        | 528 715,71               | 528,72                              |
| <b>285,50</b> | 699 689,07                | 69,97        | 831 913,72               | 831,91                              |
| <b>285,75</b> | 822 747,04                | 82,27        | 1 023 136,78             | 1 023,14                            |
| <b>286,00</b> | 934 458,69                | 93,45        | 1 244 470,95             | 1 244,47                            |
| <b>286,25</b> | 1 029 261,05              | 102,93       | 1 499 043,30             | 1 499,04                            |
| <b>286,5</b>  | 1 276 522,79              | 127,65       | 1 874 415,11             | 1 874,42                            |
| <b>287</b>    | 1 692 335,35              | 169,23       | 2 712 653,86             | 2 712,65                            |
| <b>287,05</b> | 1 740 152,26              | 174,02       | 2 812 406,25             | 2 812,41                            |
| <b>287,5</b>  | 2 203 702,97              | 220,37       | 3 865 729,38             | 3 865,73                            |
| <b>288</b>    | 2 897 139,55              | 289,71       | 5 453 875,34             | 5 453,88                            |
| <b>288,5</b>  | 3 880 075,80              | 388,01       | 7 647 993,84             | 7 647,99                            |
| <b>289</b>    | 5 312 272,50              | 531,23       | 10 735 005,97            | 10 735,01                           |

#### 5.1.2. Études géotechniques

Elles ont donnée des profondeurs d'ancrages allant de 0,50 sur les rives et 3,50 m au lit mineur le long de la digue. Une zone d'emprunt d'argile a été identifiée dans la cuvette en amont à environ 360 m de l'axe de la digue et dégage environ 60 000 m<sup>3</sup> de matériau argileux non dispersif convenable pour la construction d'une digue homogène.

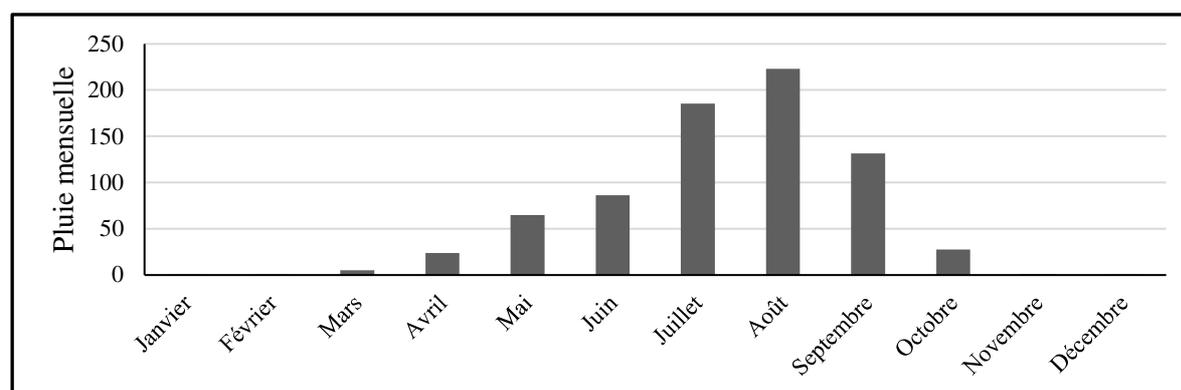
## 5.2. Analyses des données pluviométriques

### Analyse des pluies mensuelles et annuelles

Les données pluviométriques (ANNEXE 1) ayant servi à notre analyse présentent les caractéristiques résumées dans le Tableau 13. L'analyse des pluies mensuelles (Figure 5) met en évidence la durée de la saison de pluies dans l'année tandis que l'analyse des pluies annuelles à travers les Indices de Pluies Standardisées (IPS) illustre bien la tendance globale des précipitations au cours la période.

**Tableau 13 : Caractéristiques des données pluviométriques de la station de Ouagadougou**

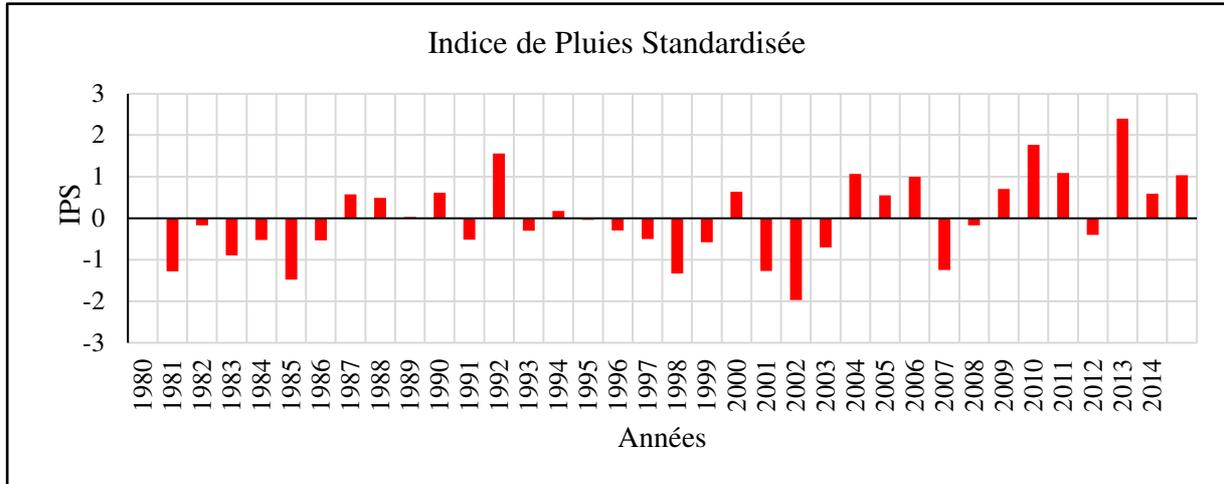
| Désignations            | Résultats        |                               |
|-------------------------|------------------|-------------------------------|
| Station                 | Ouagadougou      |                               |
| Echantillons            | Pluies annuelles | Pluies maximales journalières |
| Taille                  | 35               | 35                            |
| Période                 | 1980 à 2014      | 1980 à 2014                   |
| Valeur maximale         | 991,2 mm         | 261,3 mm                      |
| Valeur minimale         | 518,3 mm         | 36,3 mm                       |
| Moyenne                 | 732 mm           | 67,27 mm                      |
| Ecart type              | 108,2            | 37,55 mm                      |
| Médiane                 | 713,6 mm         | 58,6 mm                       |
| Intervalle de confiance | 95%              | 95%                           |



**Figure 5 : : Pluies moyenne mensuelles de Ouaga 1980-2014**

De façon générale, on note près de quatre-vingt-douze pour cent (92 %) des précipitations annuelles sont observées entre mai à septembre et que les mois d'aout et juillet sont les plus pluvieux avec respectivement 30% et 25% des précipitations annuelles suivi de septembre avec 17% environ.

En ce concerne l'indice de pluie standardisé, il nous permet de distinguer trois principales périodes le long de la série (Figure 6).



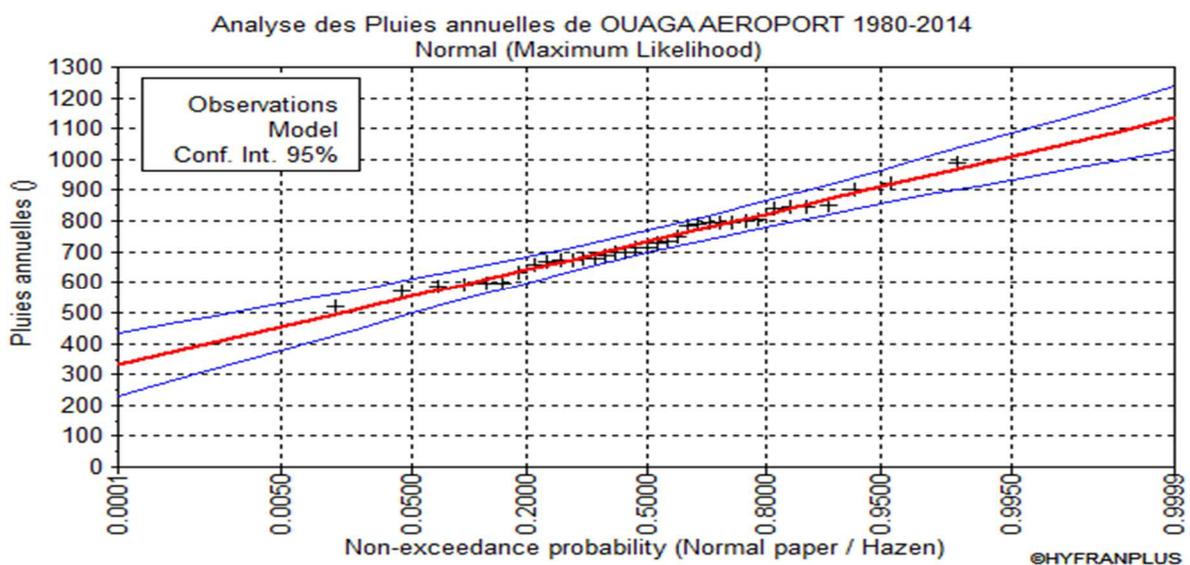
**Figure 6 : Indices de pluies standardisées**

Entre 1980 et 1986 nous avons une période sèche qui est caractéristique de la sécheresse des années 70 et 80. Entre 1987 et 2003, nous observons une alternance entre année humide et année sèche. De 2004 à nos jours les années sont relativement humides avec quelques exceptions dont l'année 2007 qui ont été très déficitaire. Nous pouvons donc espérer un retour à une situation de pluviosité meilleure.

**✚ Ajustement des pluies annuelles et maximales journalières**

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

**✓ Pluies annuelles**



**Figure 7 : Analyse statistique des données pluviométriques annuelles**

✓ Pluies maximales journalières

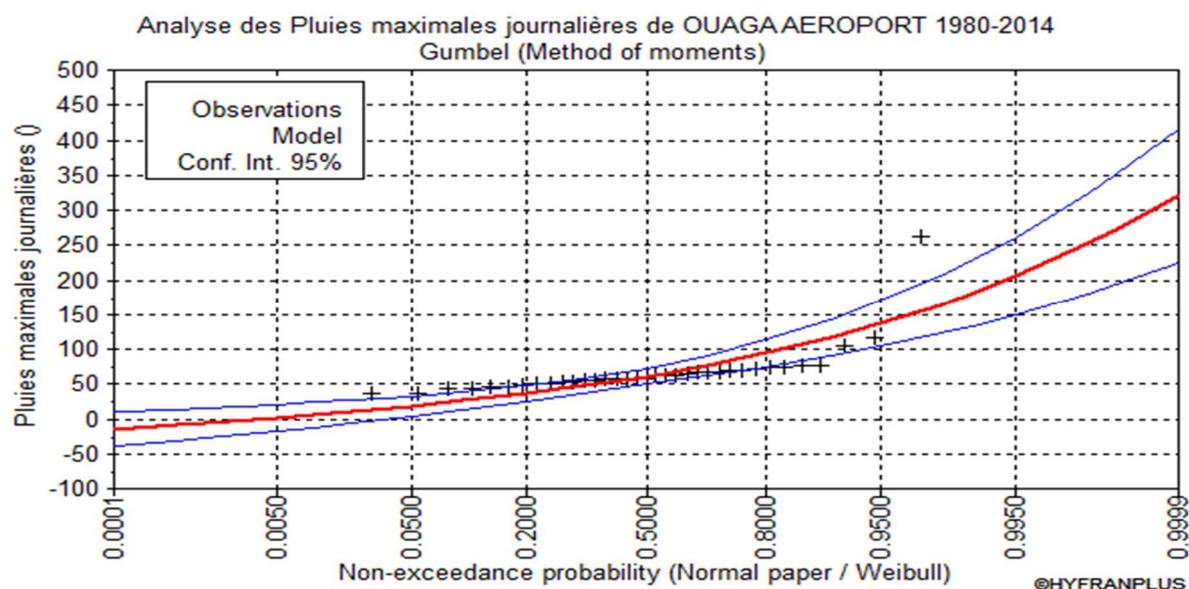


Figure 8 : Analyse des données pluviométriques journalières maximales de Ouagadougou

Tableau 14 : Synthèse des pluies annuelles et journalières maximales de Ouagadougou

| Pluies périodiques                         | Valeurs (mm) |
|--|--------------|
| Pluie annuelle moyenne (Pan)               | 732          |
| Pluie décennale humide                     | 870,7        |
| Pluie quinquennale humide                  | 823          |
| Pluie médiane                              | 713,6        |
| Pluie quinquennale sèche                   | 640,9        |
| Pluie décennale sèche                      | 593,2        |
| Pluie journalière décennale humide (P10)   | 116,3        |
| Pluie journalière centennale humide (P100) | 185          |

La valeur moyenne de la pluviométrie annuelle est de l'ordre de 732 mm/an. La zone du projet est située entre les isohyètes 300 mm et 750 mm. Cette zone climatique correspond au climat sahélien.

## 5.3. Études hydrologiques

### 5.3.1. Caractéristiques du bassin versant

A l'aide de Arc Gis, les caractéristiques du bassin versant déterminés sont (ANNEXE 2):

- ✓ Superficie : 54,24 km<sup>2</sup>
- ✓ Périmètre : 39,01 km

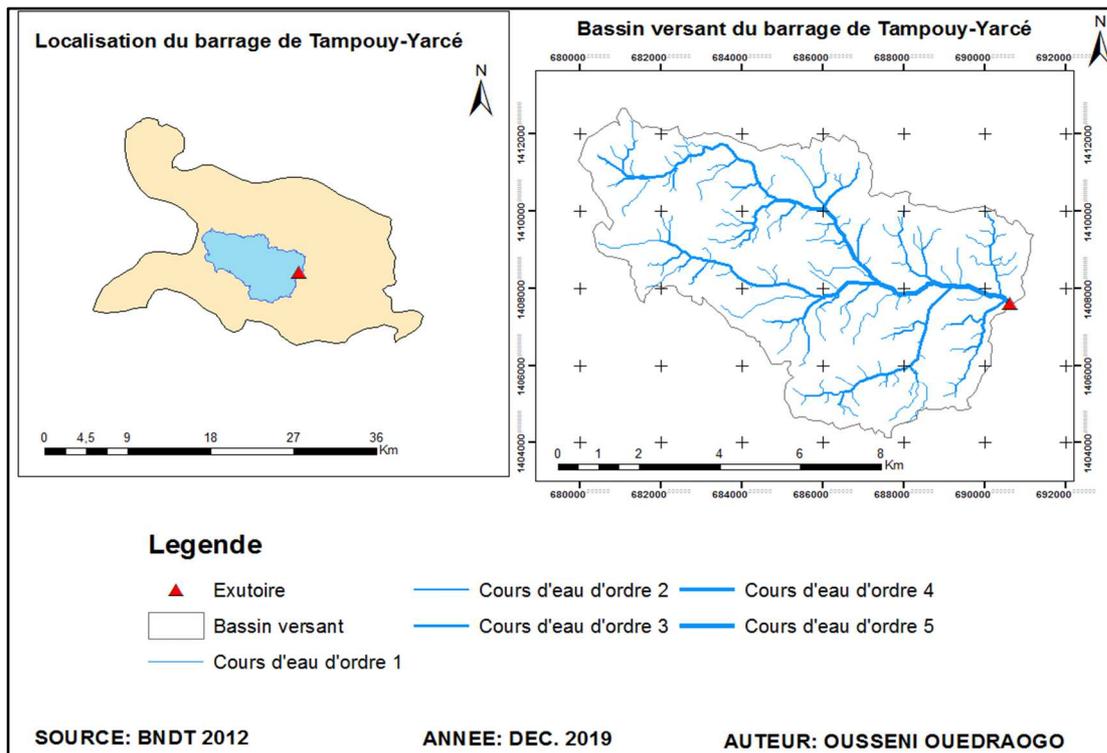


Figure 9 : Bassin versant alimentant le barrage de Tampouy-Yarcé

### 5.3.2. Courbe Hypsométrique

La Figure 10 présente la courbe hypsométrique du bassin versant du barrage de Tampouy-Yarcé.

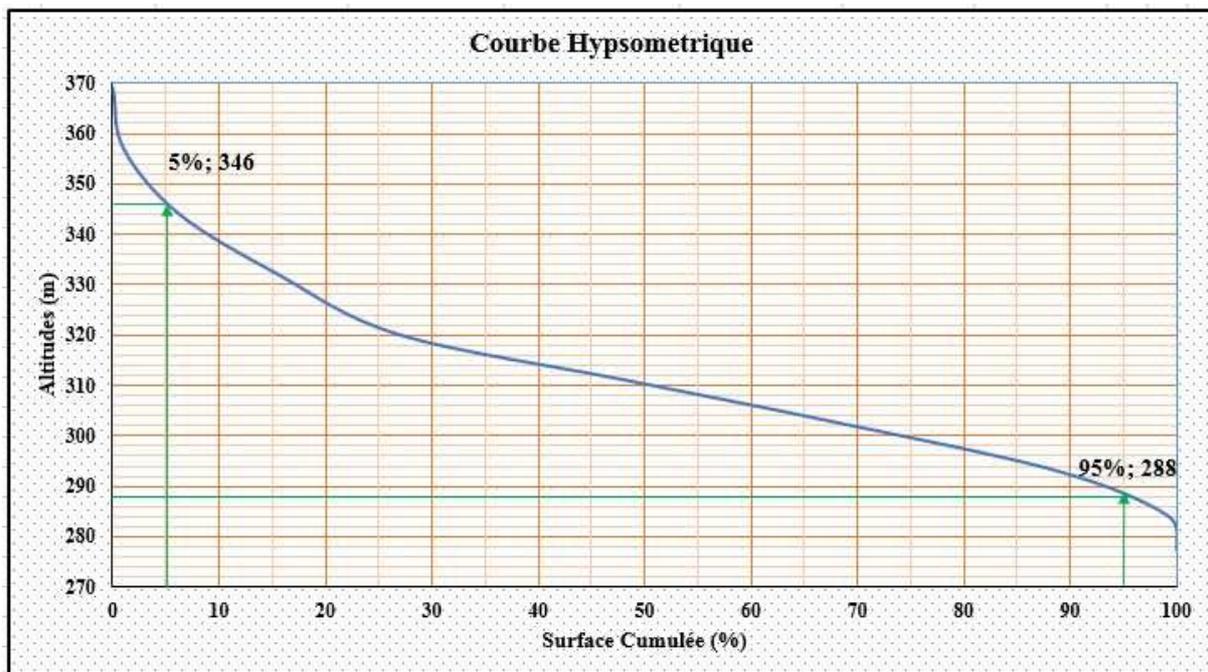


Figure 10 : Courbe Hypsométrique du bassin versant du Tampouy-Yarcé

Elle nous renseigne que  $H5\% = 346$  m et  $H95\% = 288$  m

### 5.3.3. Autres Paramètres

Le Tableau 15 renseigne sur les autres paramètres du bassin versant de Tampouy-Yarcé.

**Tableau 15: Autres caractéristiques du bassin versant**

| Libellés                               | Symboles      | Valeurs                     | Unités             |
|--|---------------|-----------------------------|--------------------|
| Coordonnées UTM de l'exutoire          | -             | X= 690 553<br>Y = 1 407 693 | UTM                |
| Longueur du cours d'eau principal      | Lp            | 14,94                       | Km                 |
| Longueur totale des cours d'eau        | Lt            | 119,16                      | km                 |
| Longueur du rectangle équivalent       | Leq           | 16,15                       | km                 |
| Largeur du rectangle équivalent        | leq           | 3,36                        | km                 |
| Pente moyenne du BV (longitudinale)    | I             | 3,53                        | m/km               |
| Coefficient de compacité de Gravelius  | Icomp         | 1,49                        | -                  |
| Indice global de pente                 | Ig            | 3,59                        | m/km               |
| Pente transversale moyenne (5 profils) | It            | 17,58                       | m/km               |
| Indice global de pente corrigé         | Igcor         | 8,26                        | m/km               |
| Dénivelée spécifique                   | Ds            | 60,80                       | m                  |
| Densité de drainage                    | Dd            | 2,20                        | Km/km <sup>2</sup> |
| Régime climatique selon ORSTOM         | -             | Sahélien                    | -                  |
| Coefficient de ruissellement décennal  | $k_{r10}$     | 28,77                       | %                  |
| Coefficient de pointe                  | $\alpha_{10}$ | 2.6                         | -                  |
| Classe du relief                       | -             | R2 : Modéré                 | -                  |
| Classe de perméabilité                 | -             | RI                          | -                  |
| Type du bassin versant                 | -             | R2 (P3)                     | -                  |
| Typologie du réseau Hydrographique     | -             | Dendritique                 | -                  |
| Coefficient d'abattement               | A             | 0,774                       | -                  |
| Temps de base                          | Tb            | 525,19                      | mn                 |
| Temps de montée                        | Tm            | 139,14                      | mn                 |

Le bassin versant de Tampouy-Yarcé est de forme allongée car  $I_{comp} > 1$ , et sa classe d'infiltration est P3 ou RI qui désigne un bassin versant relativement imperméable suivant la classification de Rodier et Auvrey. Considérant la répartition générale des différents cours d'eau du bassin, nous pouvons conclure que le réseau hydrographique est dendritique.

### 5.3.4. Période de retour

La formule de G. DEGOUTTE (1997) donne une valeur de  $H^2 (V)^{0.5} = 60,01$  pour un barrage de capacité  $1,5 \text{ hm}^3$  et une hauteur égale à 7 m. La période de retour correspondante est donc

de **1 000 ans**. Une telle période de retour assure une plus grande sécurité mais présente l'inconvénient d'un surdimensionnement de l'ouvrage. Ainsi, avons-nous opté pour une période de retour de **100 ans**, puisqu'il s'agit d'un petit barrage selon la classification du Comité national des barrages du Burkina [18], qui non seulement garantit une bonne sécurité dans l'évacuation des eaux, mais aussi permet de minimiser les coûts.

### 5.3.5. Crue de projet

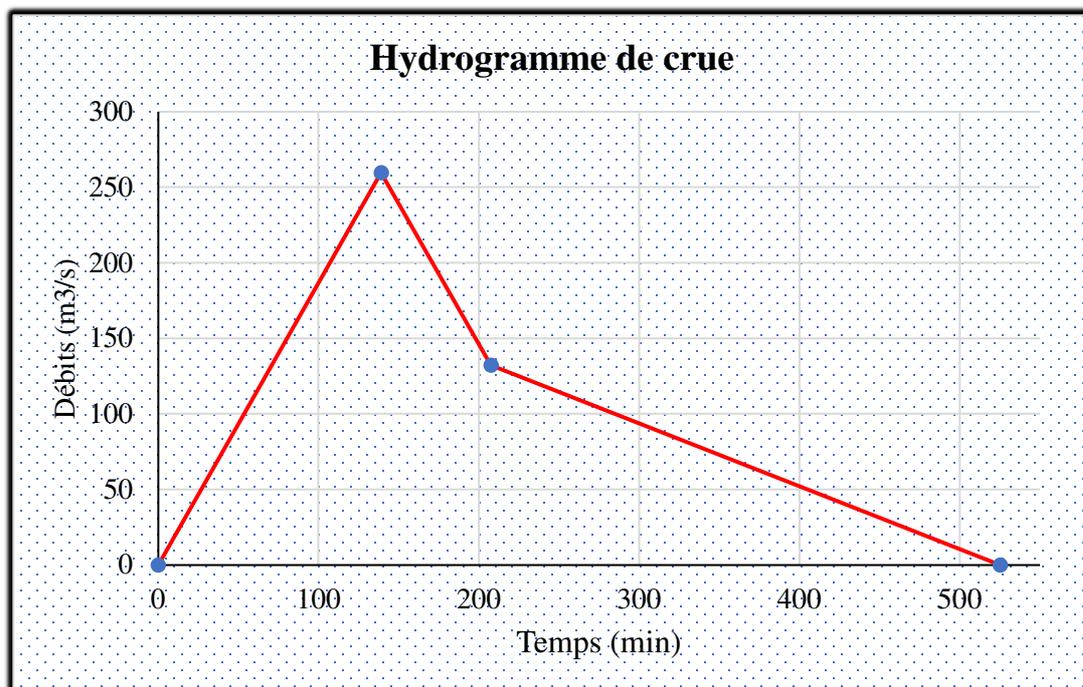
La crue décennale a été calculée suivant la méthode ORSTOM et celle du CIEH. Les deux méthodes donnent des résultats très proches l'une de l'autre (Tableau 16).

**Tableau 16: Débit de projet par la méthode ORSTOM et CIEH**

| Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)<br>ORSTOM | Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)<br>CIEH | Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)<br>retenu | C    | Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s) |
|---|---|---|------|--------------------------------------|
| 123,87  | 112,99                                      | 123,87  | 2,10 | 259,6                                |

Pour tenir compte des phénomènes extrêmes dans le dimensionnement de l'ouvrage, nous avons retenu la crue donnée par la méthode ORSTOM (valeur la plus élevée) pour la suite des calculs.

### 5.3.6. Hydrogramme de crue



**Figure 11 : Hydrogramme de crue**

La Figure 11 représente l'hydrogramme de crue du projet ; il nous renseigne sur le débit maximum de la crue qui est de 259,6 m<sup>3</sup>/s. Le changement de pente de la décrue s'effectue à

un débit  $Q_d$  dit débit de discontinuité égale à  $132,17 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 5.3.7. Crue de sécurité

Par application de la théorie du Gradex, nous avons obtenu les débits suivants pour quelques périodes de retour (Tableau 17).

**Tableau 17 : Détermination de la crue de sécurité par la théorie du Gradex**

| P(mm)        | $R_{T,Q}$    | $Q_T \text{ (m}^3/\text{s)}$ |               |               |
|--------------|--------------|------------------------------|---------------|---------------|
|              |              | T                            | ORSTOM        | CIEH          |
| <b>320</b>   | 4,249        | 10 000                       | 526,34        | 480,14        |
| <b>252,6</b> | <b>3,174</b> | <b>1 000</b>                 | <b>393,17</b> | <b>358,66</b> |
| <b>185</b>   | 2,096        | 100                          | 259,60        | 236,82        |

Selon le Comité Français des Grands Barrages, le dimensionnement allant dans le sens de la sécurité nous impose une période de retour **1 000 ans**. Ce qui nous conduit à une crue de sécurité de **358,66 m<sup>3</sup>/s**.

### 5.3.8. Crue de rupture

Dans le cadre de ce projet, nous avons estimé une crue de rupture que notre ouvrage devra supporter. Elle est de **1094,87 m<sup>3</sup>/s**. Cette crue est largement supérieure à la crue de sécurité. Ces résultats confirment que la sécurité de l'ouvrage est assurée.

### 5.3.9. Apports d'eau du bassin versant

Les apports liquides du bassin versant de Tampouy-Yarcé en année moyenne quinquennale sèche et décennale sèche sont résumés dans le Tableau 18.

**Tableau 18 : Apports d'eau annuels du bassin versant**

| Période                   | Apports (m <sup>3</sup> ) |                   |              |
|---------------------------|---------------------------|-------------------|--------------|
|                           | Méthode de Coutagne       | Méthode de Rodier | Apport moyen |
| <b>Médiane</b>            | 6 001 421                 | 6 713 226         | 6 357 324    |
| <b>Quinquennale sèche</b> | 3 678 166                 | 3 831 136         | 3 754 651    |
| <b>Décennale sèche</b>    | <b>2 431 723</b>          | <b>2 784 774</b>  | 2 608 249    |

Nous remarquons que les apports en année décennale sèche des deux méthodes sont très proches. Nous admettons alors que l'apport moyen de la décennale sèche est de **2 608 249 m<sup>3</sup>** soit la moyenne des résultats issus des deux méthodes. L'ouvrage sera dimensionné en tenant compte de ce volume.

## 5.4. Étude de la cuvette

### 5.4.1. Estimation des besoins

Les besoins en eau estimés pour les principales sources de prélèvement au niveau de la retenue sont consignés dans le Tableau 19.

**Tableau 19: Estimation des besoins en eau**

|                 | Besoin animal<br>(m <sup>3</sup> /mois) | Besoin agricole<br>(m <sup>3</sup> /mois) | Besoins humains<br>(m <sup>3</sup> /jour) | Besoins<br>mensuel (m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|---|---|---|--------------------------------------|
| <b>Novembre</b> | 7 440                                   | -   | 9 360                                     | 16 800                               |
| <b>Décembre</b> | 7 688                                   | 40 887                                    | 9 672                                     | 58 247                               |
| <b>Janvier</b>  | 7 688                                   | 60 690                                    | 9 672                                     | 78 050                               |
| <b>Février</b>  | 6 944                                   | 68 456                                    | 8 736                                     | 84 136                               |
| <b>Mars</b>     | 7 688                                   | 77 913                                    | 9 672                                     | 95 273                               |
| <b>Avril</b>    | 7 440                                   | 56 378                                    | 9 360                                     | 73 178                               |
| <b>Mai</b>      | 7 688                                   | -   | 9 672                                     | 17 360                               |
| <b>Total</b>    | 52 576                                  | 304 323                                   | 66 144                                    | 423 043                              |

Les sollicitations en eau du barrage s'élèvent à environ 423 000 m<sup>3</sup> chaque année (ANNEXE 3). Elles regroupent les besoins humains évalués à 312 m<sup>3</sup>/jour, les besoins du pastoralisme évalués à 248 m<sup>3</sup>/jour et les besoins agricoles qui sont fonction du stade végétatif des types de cultures en place. Selon notre calendrier agricole, les besoins de pointe interviennent au mois de mars.

### 5.4.2. Estimation des pertes

#### Pertes par évaporation et par infiltration

L'évaporation au niveau du barrage est évaluée à **2161 mm** par an tandis que l'infiltration est de **730 mm** l'année. Le Tableau 20 présente l'estimation des pertes en fonction des mois.

**Tableau 20 : Evaluation des pertes par infiltration et évaporation**

| Mois      | Evaporation bac (mm) par mois | Evaporation bac (mm) par jour | Evaporation Lac (mm) par jour | Evaporation Lac (mm/mois) | Infiltration (mm) par mois | Pertes totale (mm) par an |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Janvier   | 261                           | 8,42                          | 6,0                           | 186,0                     | 62                         | 248                       |
| Février   | 280                           | 10,00                         | 6,7                           | 186,3                     | 56                         | 242                       |
| Mars      | 340,3                         | 10,98                         | 7,0                           | 218,2                     | 62                         | 280                       |
| Avril     | 328,5                         | 10,95                         | 7,0                           | 210,9                     | 60                         | 271                       |
| Mai       | 315,4                         | 10,17                         | 6,7                           | 208,5                     | 62                         | 270                       |
| Juin      | 253,8                         | 8,46                          | 6,0                           | 180,5                     | 60                         | 241                       |
| Juillet   | 207,5                         | 6,69                          | 5,2                           | 162,0                     | 62                         | 224                       |
| Août      | 172,7                         | 5,57                          | 4,7                           | 145,1                     | 62                         | 207                       |
| Septembre | 174,1                         | 5,80                          | 4,8                           | 143,9                     | 60                         | 204                       |
| Octobre   | 219,5                         | 7,08                          | 5,4                           | 167,6                     | 62                         | 230                       |
| Novembre  | 236,8                         | 7,89                          | 5,8                           | 173,2                     | 60                         | 233                       |
| Décembre  | 243,7                         | 7,86                          | 5,8                           | 178,5                     | 62                         | 240                       |
| Total     | 3033,30                       |                               |                               | 2160,63                   | 730,00                     | 2 891                     |

Ces résultats montrent qu'une lame d'eau d'environ 3 m est systématiquement perdue chaque année au niveau de la retenue par la demande climatique. Cette perte qui représente un volume important aura un impact majeur sur la pérennité de l'eau de notre barrage. Aussi, nous constatons que les pertes les plus importantes sont enregistrées au mois de mars.

#### Pertes par dépôts solides

Le Tableau 21 présente les volumes de l'estimation sédiments dans le bassin.

**Tableau 21: Pertes par dépôts solides**

| Dépôts solides                         | Dégradation spécifique D              | Dépôts annuels       |
|--|---------------------------------------|----------------------|
|  | (m <sup>3</sup> /Km <sup>2</sup> /an) | (m <sup>3</sup> /an) |
| GRISILLON                              | 202,99                                | 11 010,19            |
| GOTTSCHALK                             | 174,40                                | 9 459,33             |
| KARAMBIRI                              | 120,87                                | 6 556,11             |
| Valeur retenue                         | 188,69                                | 10 234,76            |
| Volume tranche morte (m <sup>3</sup> ) |                                       | 102 348              |

En prenant la moyenne des dégradations spécifiques obtenues par les formules de GRESILLON et GOTTSCHALK, le volume annuel de dépôts solides est de 10 234,76 m<sup>3</sup>. Ce qui donne un volume total de 102 348 m<sup>3</sup> de sédiments à l'horizon de 10 ans. Pour minimiser la perte de volume de la cuvette à l'horizon du projet qui est de 30 ans, nous optons pour un curage chaque

10 ans. Le volume de la tranche morte de notre retenue serait de 102 348 m<sup>3</sup> dans ce cas.

### 5.4.3. Courbe Hauteur Volume et surface

Le levé topographique de la cuvette du barrage a permis d'obtenir les superficies et des volumes suivants les courbes de niveaux (Figure 12 et Figure 13) .

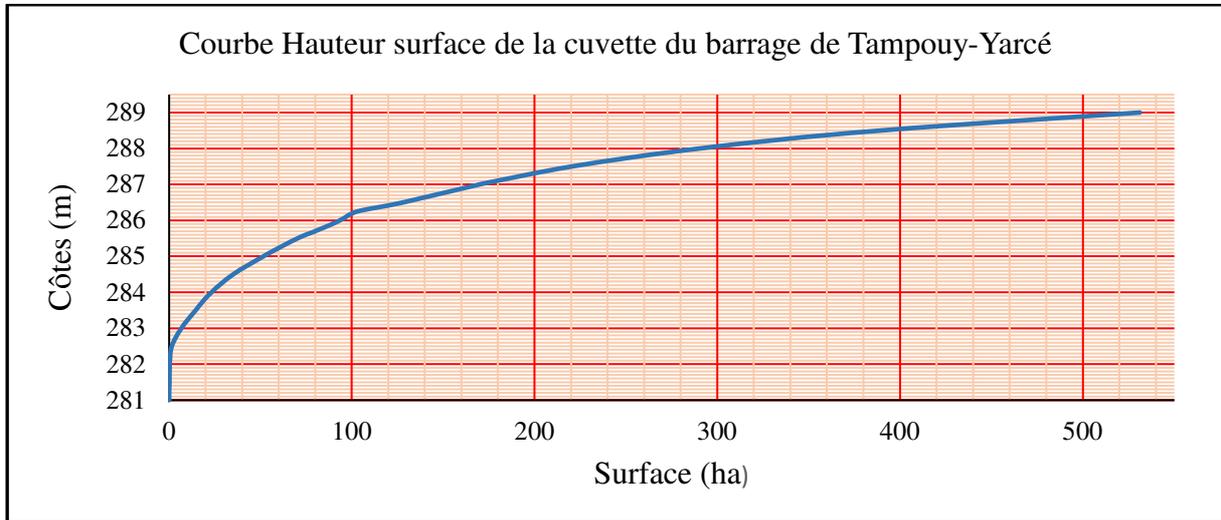


Figure 12 : Courbe hauteur surface de la cuvette

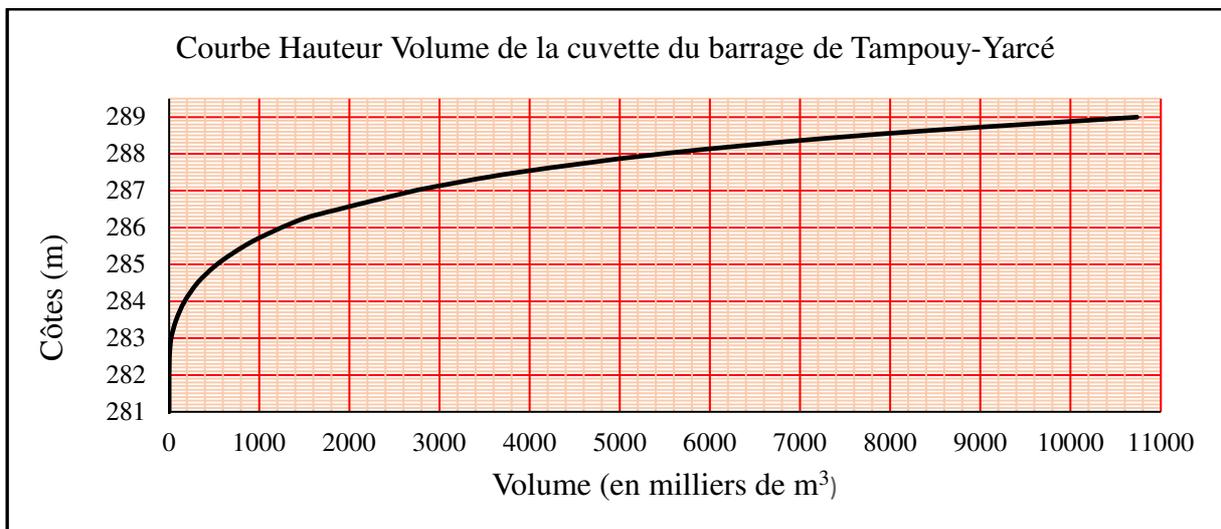


Figure 13 : Courbe hauteur volume de la cuvette

### 5.4.4. Plan d'Eau Normal (PEN) et des Plus Hautes Eaux

Nous avons calé la cote du déversoir à **286,25 m**. A cette cote, le volume de la retenue ( $V_r$ ) est de **1 500 000 m<sup>3</sup>**. Ce volume satisfait l'une des exigences de la DGIH qui est de mobiliser au moins 1 000 000 m<sup>3</sup>. Aussi, l'analyse des apports liquides (**Erreur ! Source du renvoi**

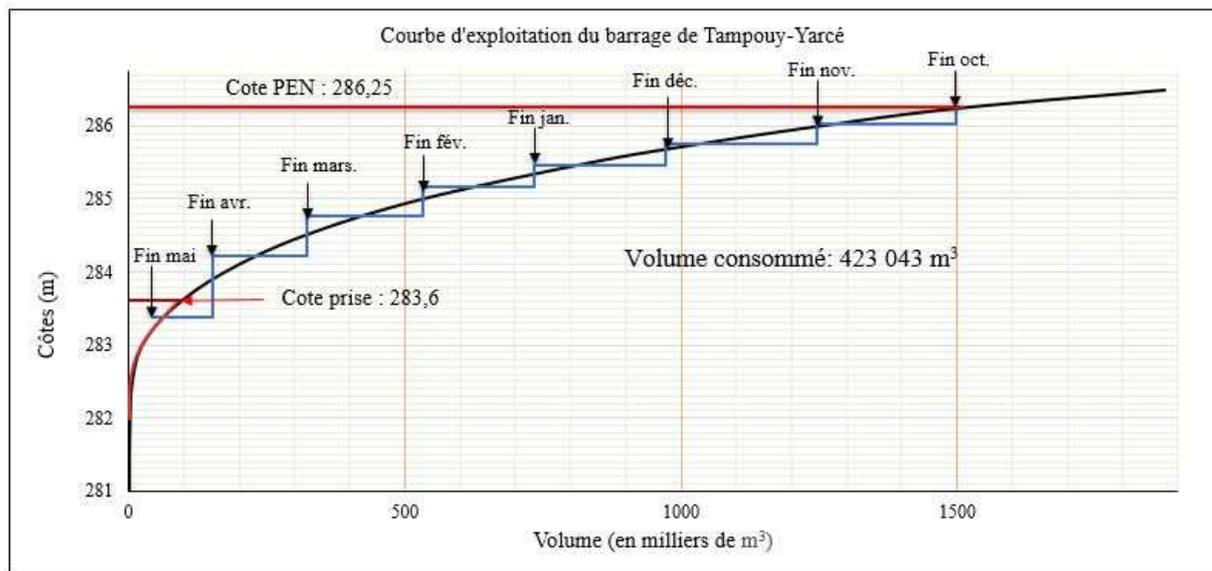
**introuvable.**) montre qu'à cette côte, le barrage peut être rempli même en année décennale sèche. Le Tableau 22 nous renseigne sur les caractéristiques de la retenue.

**Tableau 22 : Caractéristiques de la retenue**

| Désignations     | Valeurs   | Unités         |
|------------------|-----------|----------------|
| Côte PEN         | 286,25    | m              |
| Surface du PEN   | 102,93    | ha             |
| Volume PEN       | 1 500 000 | m <sup>3</sup> |
| Charge déversant | 0,8       | m              |
| Côte PHE         | 287,05    | m              |
| Surface PHE      | 174,02    | ha             |
| Volume PHE       | 2 812 000 | m <sup>3</sup> |

### 5.4.5. Courbe d'exploitation

La simulation de l'exploitation du barrage est illustrée par la Figure 14.



**Figure 14 : Courbe d'exploitation de la retenue**

En rapportant le volume des sédiments à l'horizon du projet sur cette courbe, la côte minimale de la prise d'eau pour l'irrigation sera à **283,6 m** pour assurer une exploitation optimale du périmètre. La mise en concurrence entre les besoins en eau d'une part et d'autre part, les pertes (infiltration et évaporation) et les pluies directes sur la retenue chaque mois de novembre à mai ne présente pas de garantie quant à la disponibilité de l'eau toute l'année. En fin mai, l'eau se trouve au niveau de la tranche morte donc en dessous de la prise d'eau. Les calendriers cultureux devraient tenir compte de cette situation.

## 5.5. Conception générale et dimensionnement du barrage

### 5.5.1. Conception de la digue

Les éléments de conception de la digue sont renseignés dans le Tableau 23.

Tableau 23 : Caractéristiques de la digue

| <b>Digue</b>                                       |                            |
|--|----------------------------|
| <b>Longueur digue</b>                              | 1490 m déversoir y compris |
| <b>Côte crête du déversoir</b>                     | 286,25 m                   |
| <b>Seuil déversant</b>                             | 0.80 m                     |
| <b>Revanche libre</b>                              | 0,95 m                     |
| <b>Côte crête de la digue</b>                      | 288,00 m                   |
| <b>Hauteur Digue</b>                               | 7 m                        |
| <b>Largeur en crête digue</b>                      | 4 m                        |
| <b>Pente talus amont et aval</b>                   | 1V/2H                      |
| <b>Angle au pied des talus <math>\alpha</math></b> | 26,57 °                    |
| <b>Largeur en base digue</b>                       | 32 m                       |
| <b>Volume du remblai de la digue</b>               | 63 405 m <sup>3</sup>      |
| <b>Epaisseur des enrochements</b>                  | 50 cm                      |
| <b>Paramètre du drain</b>                          |                            |
| <b>Longueur du drain</b>                           | 8,00 m                     |
| <b>Paramètre « b »</b>                             | 10,5 m                     |
| <b>Paramètre « d »</b>                             | 16,65 m                    |
| <b>Paramètre « Y0 »</b>                            | 0,81 m                     |
| <b>Débit de fuite « Q<sub>fuite</sub> »</b>        | 4,04E-09 m <sup>3</sup> /s |
| <b>Epaisseur du drain</b>                          | 0,15 m                     |
| <b>Tranché d'encrage</b>                           |                            |
| <b>Pente des talus de la tranchée</b>              | 3V/2H                      |
| <b>Profondeur</b>                                  | Variable selon le TN       |
| <b>Largeur en gueule</b>                           | 3,5 m                      |

La digue du barrage sera homogène en argile. Elle sera dotée d'un drain horizontal qui aura pour but de rabattre la ligne phréatique à l'intérieure du remblai. Les talus amont et aval seront protégés par des moellons latéritiques maçonnés. La crête de la digue sera protégée par un revêtement latéritique de 20 cm d'épaisseur et des murets parapets de 0,5m\*0,5m à l'amont et à l'aval. Les détails sont en ANNEXE 9

La ligne phréatique à travers le remblai est mise en évidence par la Figure 15 grâce au logiciel GEOSlope.

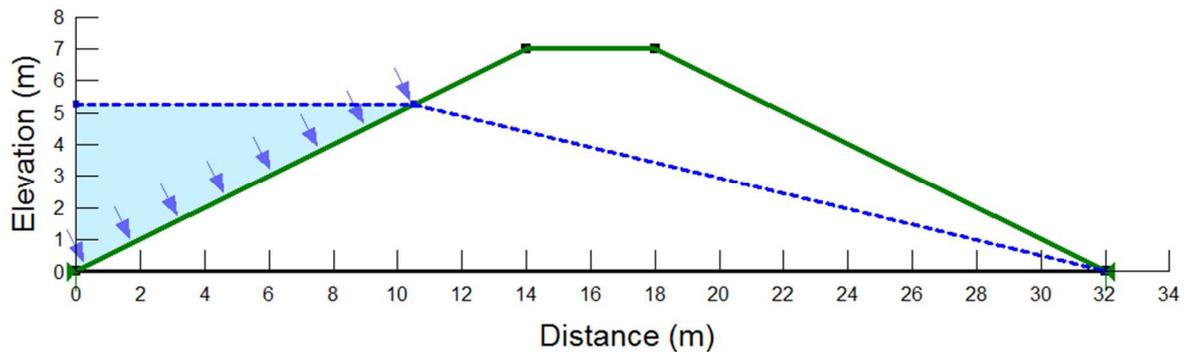


Figure 15 : Ligne phréatique à travers la digue

### 5.5.2. Stabilité de la digue

En utilisant la méthode de vérification de la stabilité des talus de Bishop sur le logiciel GEOSLOPE nous avons obtenu un facteur de sécurité de Bishop de  $F_s = 2,15$  supérieurs à 1,5.

La Figure 16 illustre les résultats obtenus des simulations.

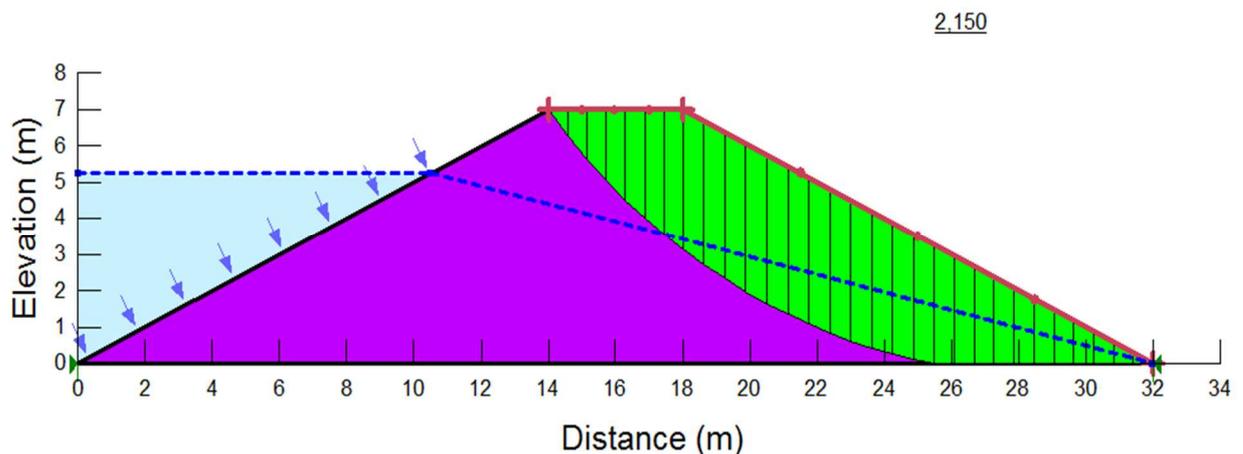


Figure 16 : Vérification de la stabilité au niveau du talus aval

## 5.6. Évacuateur de crue

### 5.6.1. Laminage des crues

Le laminage par la méthode du  $X_0$  donne une longueur déversant  $L = 153,21 \text{ m}$  avec un débit laminé de  $189,36 \text{ m}^3/\text{s}$  (voir ANNEXE 4). Par ailleurs, le laminage par l'équation de continuité donne une longueur de  $163,8 \text{ m}$  avec  $202,47 \text{ m}^3/\text{s}$ . La longueur moyenne obtenue à l'aide des deux méthodes est de  $158,5 \text{ m}$  et correspond à un débit laminé de  $195,92 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pour des raisons de mise en œuvre nous optons comme longueur du déversoir  $L = 160 \text{ m}$  et le débit laminé correspondant vaut  $Q_e = 197,77 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le Tableau 24 récapitule les résultats des calculs de laminage.

**Tableau 24: Laminage des crues**

|                                       |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| <b>Longueur du déversoir</b>          | <b>160 m</b>          |
| <b>Lame déversant</b>                 | 0.8 m                 |
| <b>Débit laminé</b>                   | 197,77 m <sup>3</sup> |
| <b>Coefficient <math>\beta</math></b> | 76,20%                |

### 5.6.2. Conception du déversoir

Les éléments de conception du déversoir sont consignés dans le Tableau 25 (voir ANNEXE 5).

**Tableau 25 : Eléments de conception du déversoir**

| <b>Libellé</b>                   | <b>Valeur</b>                                |
|----------------------------------|--|
| <b>Longueur</b>                  | 160 m  |
| <b>Largeur en crête</b>          | 1 m  |
| <b>Côte au pied du déversoir</b> | 281,00 m                                     |
| <b>Côte en crête</b>             | 286,25 m                                     |
| <b>Matériaux</b>                 | Béton Cyclopéen dosé à 250 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Hauteur du déversoir</b>      | 5,25 m                                       |
| <b>Charge déversant</b>          | 0,8 m  |
| <b>Forme</b>                     | Trapézoïdale                                 |

### 5.6.3. Stabilité du déversoir

La vérification de la stabilité du déversoir poids est résumé dans le Tableau 26

**Tableau 26: Stabilité du déversoir**

| <b>Désignation</b>   | <b>Unité</b> | <b>Valeurs</b> |
|--|--------------|----------------|
| <b>Etude de la stabilité externe</b>                         |              |                |
| <b>✚ Stabilité au glissement</b>                             |              |                |
| ✓ Résultante des forces verticales                           | kN           | 353,18         |
| ✓ Résultante des forces horizontales                         | kN           | 187,31         |
| ✓ Coefficient de sécurité au glissement ( $F_g \geq 1,2$ )   |              | <b>1,23</b>    |
| <b>✚ Stabilité au renversement</b>                           |              |                |
| ✓ Somme des moments stabilisants                             | ✓ kN.m       | 2491, 33       |
| ✓ Somme des moments renversants                              | ✓ kN.m       | 355,17         |
| ✓ Coefficient de sécurité au renversement ( $F_r \geq 1,5$ ) |              | <b>7,01</b>    |
| <b>Etude de la stabilité Interne</b>                         |              |                |
| <b>✚ Non fissuration (Règle du tiers central)</b>            |              |                |
| ✓ Excentricité ( $\leq B/6$ )                                | m            | 0,65           |
| ✓ B/6  | m            | 1,68           |
| <b>✚ La non rupture</b>                                      |              |                |
| ✓ Contrainte maximale ( $\sigma_{max} \leq \sigma_{lim}$ )   | Mpa          | 0,048          |
| ✓ Contrainte limite $\sigma_{lim}$                           | Mpa          | 6,00           |

Toutes les conditions sont remplies. Nous concluons que le déversoir est stable.

Le poids du mètre linéaire du déversoir vaut = **698,88 KN/ml**.

## 5.7. Bassin de dissipation et chenal d'évacuation

Les caractéristiques du bassin de dissipation et du chenal d'évacuation sont dans le Tableau 27.

Les détails de calcul sont en ANNEXE 6.

**Tableau 27 : Caractéristiques du bassin de dissipation**

| <b>Bassin de dissipation</b>                           |                          |                |
|--|--------------------------|----------------|
| <b>Désignation</b>                                     | <b>Symbole et unité</b>  | <b>Valeurs</b> |
| <b>Lame d'eau au-dessus du déversoir</b>               | h (m)                    | 0,8            |
| <b>Hauteur maximale de l'eau au droit du déversoir</b> | H (m)                    | 5,25           |
| <b>Enfoncement du bassin</b>                           | D (m)                    | 1              |
| <b>Débit de crue laminé</b>                            | Q (m <sup>3</sup> /s)    | 197,77         |
| <b>Débit unitaire</b>                                  | Q (m <sup>3</sup> /s/ml) | 1,24           |
| <b>Hauteur de chute</b>                                | Z (m)                    | 7,15           |
| <b>Tirant d'eau normal</b>                             | Y1(m)                    | 0,110          |
| <b>Vitesse de l'eau à l'entrée du</b>                  | V1(m/s)                  | 11,24          |
| <b>Froude</b>  | Fr                       | 10,82          |
| <b>Type de bassin</b>                                  | Type                     | II             |
| <b>Longueur du bassin</b>                              | L (m)                    | 4,5            |
| <b>Longueur de la protection aval</b>                  | Lp (m)                   | 9              |
| <b>Hauteur du seuil terminal</b>                       | h4 (m)                   | 0,20           |
| <b>Hauteur des blocs de chicanes</b>                   | h2 (m)                   | 0,30           |
| <b>Hauteur des blocs de chutes</b>                     | h1 (m)                   | 0,15           |
| <b>Distance blocs chicanes-blocs de</b>                | e1 (m)                   | 1,30           |
| <b>Revanche du bassin de dissipation</b>               | R (m)                    | 1,30           |
| <b>Chenal d'évacuation</b>                             |                          |                |
| <b>Pente</b>   | (%)                      | 0,2            |
| <b>Profondeur</b>                                      | (m)                      | 0,6            |
| <b>Largeur en plafond</b>                              | (m)                      | 160,00         |
| <b>Longueur minimale du chenal</b>                     | (m)                      | 13,5           |
| <b>Débit maximal</b>                                   | Q (m <sup>3</sup> /s)    | 197,77         |

## 5.8. Protection du chenal

Le chenal retenu est en terre avec une pente des talus de 1/1, une largeur égale à celle du bassin de dissipation et une longueur d'environ 30m afin que l'eau de crue puisse avoir un parcours d'écoulement assez long avant d'être restituée directement à la rivière. Il aura une pente non érosive de 0,2%. Les déblais excavés seront déposés le long du chenal afin de constituer un bourrelet de terre permettant de le protéger. Ce bourrelet sera compacté et aura une crête d'au moins 3m pour permettre la circulation des engins. Il sera protégé par deux rangées de gabions

placés dans le sens de la plus grande dimension (voir ANNEXE 7).

## 5.9. Ouvrage de prise et de vidange de fond

Nous avons opté après calcul (ANNEXE 10), une conduite en fonte de diamètre nominale **DN = 400 mm**. La conduite en fonte traversant le corps de la digue sera coulée dans un béton d'épaisseur **0,2m** et entouré de matériaux filtrants identique à celui utilisé pour le filtre de la digue. Ce matériau filtrant sera mis en contact avec le drain du pied aval. Elle sera aussi équipée d'une crépine métallique à son extrémité en amont. Sa longueur est de 35 m.

L'extrémité amont correspondant à l'entrée de l'eau dans la conduite est fixée à la cote **283,60 m** et l'extrémité aval correspondant au débouché aval sera calée à la cote **283,35 m**.

## 5.10. Jonction digue déversoir

La jonction entre la digue et le déversoir se fera par le biais des murs bajoyers (ANNEXE 8). Le dimensionnement a été fait avec le logiciel CYPE 2014 et les dimensions ajustées sont consignées dans le Tableau 28.

**Tableau 28 : Dimensionnement final du mur bajoyer**

| Désignation                                       | Valeurs |
|---|---------|
| Hauteur du remblai argileux H' (m)                | 7,00    |
| Hauteur du mur bajoyer H (m)                      | 8,4     |
| Epaisseur de la crête du voile e <sub>0</sub> (m) | 0,35    |
| Epaisseur de la base du voile e <sub>1</sub> (m)  | 0,70    |
| Epaisseur de la semelle e <sub>2</sub> (m)        | 0,70    |
| Largeur de la semelle b (m)                       | 4,50    |
| Largeur du patin de la semelle b <sub>1</sub> (m) | 0,00    |
| Largeur du talon de la semelle b <sub>2</sub> (m) | 3,80    |

La stabilité des murs vérifiée sur Excel sont dans le Tableau 29.

**Tableau 29 : Vérification de la stabilité du mur bajoyer**

| Vérification du mur de soutènement | Formule                                | Valeurs | Appréciation |
|------------------------------------|--|---------|--------------|
| Stabilité au renversement          | $\frac{MST}{MR} \geq 1,5$              | 1,94    | Vérifiée     |
| Stabilité au non soulèvement (m)   | $e \leq \frac{B}{6} = 0,75$            | 0,52    | Vérifiée     |
| Stabilité au poinçonnement (MPa)   | $\delta_{ref} \leq q_{adm} = 2$        | 0,187   | Vérifiée     |
| Stabilité au glissement            | $\frac{N * \tan\phi' * s}{V} \geq 1,2$ | 1,71    | Vérifiée     |

Toutes les conditions étant vérifiées, nous concluons que le mur de soutènement est stable.

La coupe du mur de soutènement est représentée par la Figure 17.

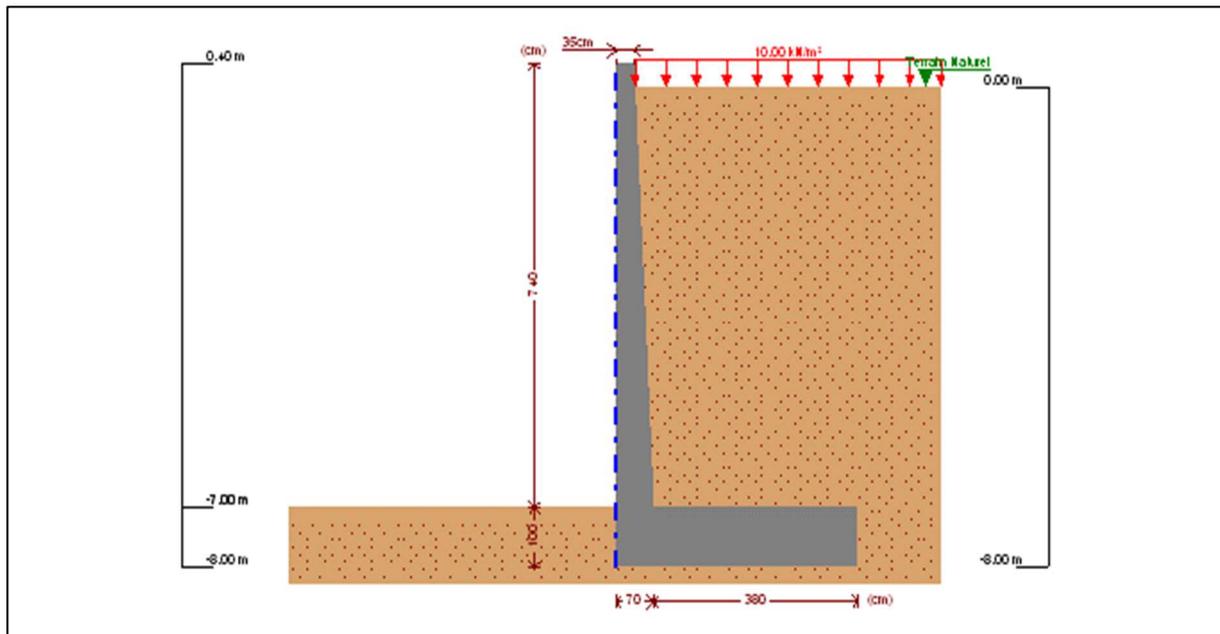


Figure 17: Coupe transversale du mur bajoyer

### 5.11. Dispositif d'auscultation et surveillance du barrage

Le dispositif est composé d'une batterie d'échelles limnométriques de sept (07) éléments, fabriquée en usine par unités de 1,00 m. Le zéro du premier élément d'échelle sera à la cote 281,00. Aussi l'installation de deux piézomètres à l'aval du barrage pour le suivi de la dynamique hydraulique au travers du corps de la digue est prévue. En plus des équipements, un comité de gestion du barrage sera mis en place et formé pour une meilleure exploitation du barrage.

### 5.12. Notice d'impacts environnementaux et sociaux

Les principales sources d'impacts environnementaux et sociaux identifiées dans le cadre du projet sont relatives à l'installation du chantier, aux zones d'emprunt des matériaux et les emprises des ouvrages. L'évaluation des impacts a conduit à la proposition des mesures environnementales et sociales visant à atténuer ou compenser les impacts négatifs et optimiser les impacts positifs (ANNEXE 11). La mise en œuvre des mesures se fera à travers un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES). Les estimations de coûts de mise en œuvre du PGES ont été chiffrées à la somme provisoire de **cent soixante-onze millions (171 000 000) FCFA**.

### 5.13. Devis estimatif et quantitatif de la construction du barrage

Le coût global de la construction du barrage s'élève à Un-Milliard-Huit-Cents-Six-Millions-Six-Cents-Cinquante-Cinq-Mille-Trois-Cents Quatre-Vingt-Seize francs (**1 806 655 396**) CFA hors taxes (ANNEXE 12).

## VI. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La réalisation du barrage Tampouy-Yarcé initiée par l'état burkinabé dans la commune de Zitenga témoigne une fois de plus de l'engagement du gouvernement dans la mise en oeuvre de la politique nationale en matière d'eau amorcée depuis les années 90. Ce projet revêt une importance capitale pour la population de Tampouy-Yarcé et des villages environnants et contribuera sans doute au développement du secteur agro-sylvo-pastoral. Sa mise en oeuvre permettra d'accroître la résilience des populations face à la pauvreté et à l'insécurité alimentaire et ainsi améliorer les conditions de vie en milieu rural.

Il résulte de nos études que cette retenue pourra stocker **1,5 millions de m<sup>3</sup>** d'eau pour un coût global Un-Milliard-Huit-Cents-Six-Millions-Six-Cents-Cinquante-Cinq-Mille-Trois-Cents Quatre-Vingt-Seize francs (**1 806 655 396**) FCFA. Cette capacité couvre bien les besoins humains et pastoraux ainsi que l'irrigation de 15 ha d'aménagement hydro agricole pratiquée en saison sèche à l'aval du barrage. Il appartient donc aux populations de savoir tirer le meilleur profit de ce joyau qui leur sera offert en unissant leurs efforts dans sa gestion.

Bien que ce travail ait un objectif académique, il représente tout de même une modeste contribution qui servira de boussole pour la DGIH dans la suite du processus de validation de l'étude APD que le bureau d'étude lui soumettra dans les jours à venir.

Au regard du grand intérêt du projet pour la population, il est plus qu'important que des mesures soient prises pour sa bonne mise en oeuvre et sa pérennisation. Ainsi, nous formulons les recommandations suivantes à l'endroit du maître d'ouvrage :

- La réalisation d'une étude approfondie sur l'aménagement hydro agricole à l'aval du barrage qui fera ressortir le type de système d'irrigation et la chaîne des valeurs à mettre en place;
- La réalisation d'une piste à bétail pour l'accès au barrage;
- La délimitation d'une bande de servitude du barrage et l'interdiction de son occupation anarchique;
- Le Reboisement de la bande de servitude;
- La mise en place d'un comité de gestion du barrage;
- Le renforcement des capacités techniques du comité et des habitants en matière de gestion et d'entretien du barrage et plus particulièrement la lutte contre l'ensablement de la cuvette compte tenue de l'importance de la sédimentation estimée;
- L'implication de l'Agence de l'Eau du Nakanbé dans le suivi et la gestion de l'ouvrage.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] B. Faso, *État des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion*. Ministère de l'Environnement et de l'Eau, version finale, 2001.
- [2] I. Institut National de la Statistique et de la Démographie, *Projection démographique 2007-2020*. Ouagadougou, Burkina Faso, 2009.
- [3] I. Institut National de la Statistique et de la Démographie, *Rapport définitif du RGPH 2006*. Ouagadougou, Burkina Faso, 2008.
- [4] MERH, *Plan national d'adaptation aux changements climatiques du Burkina Faso, volume principal, version finale*. 2015.
- [5] MECV, PANA : *Programme d'action national d'adaptation aux changements climatiques du Burkina Faso, version provisoire*. 2006.
- [6] MEDEV, *Atlas du Burkina Faso*. Ouagadougou, Burkina Faso, 2006.
- [7] F. J. P. Pallo et T. Lamourdia, « Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions du Burkina Faso : caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole », 1989.
- [8] J. C. BEGOU, *Analyse des écoulements de surface; cours AGRHYMET*. 2010.
- [9] J. P. Triboulet, D. Chabi Gonni, J. F. Nouvelot, J. M. Lamachere, C. Puech, et J. M. Faures, « 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 ». FAO, 1996.
- [10] G. Degoutte et J. J. Fry, « Petits barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi ». Cemagref Editions, 2002.
- [11] J. M. DURAND, P. ROYET, et P. MÉRIAUX, *Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale*. Cemagref, 1999.
- [12] M. L. COMPAORE, *Cours de barrage, EIER, 2ème édition; Ouagadougou/ BURKINA FASO*. 1996.
- [13] H. KARAMBIRI et D. NIANG, *Cours d'hydrologie 2ie*. 2011.
- [14] Pouyaud et Bernard, *Contribution à l'évaluation de l'évaporation de nappes d'eau libre en climat tropical sec : exemple du lac de Bam et de la mare d'Oursi (Burkina Faso) ; du lac Tchad et d'açudes du Nordeste brésilien*. ORSTOM, 1986.
- [15] I. GUEYE, *Cours de barrage, 2iE*. 2011.
- [16] J. M. DURAND, *Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique*. 1996.
- [17] Ministère de l'Economie des Finances et du Développement, *Mercuriale des bâtiments et travaux publics à Ouaga*. Ouagadougou, Burkina Faso, 2018.
- [18] Comité National des Barrages du Burkina et Association des Ingénieurs et Techniciens en Génie Civil du Burkina, *Etude sur la Classification des Barrages au Burkina Faso*. Ouagadougou, Burkina Faso, 2014.

### Sites internet

[www.usgs.gov](http://www.usgs.gov). Consulté le 06 août 2019 à 16h

## **ANNEXES**

|  |     |
|--|-----|
| Annexe 1 : Analyse des données pluviométriques.....                  | 65  |
| Annexe 2 : Etudes Hydrologiques.....                                 | 69  |
| Annexe 3 : Etude de la cuvette.....                                  | 82  |
| Annexe 4 : Laminage des crues.....                                   | 88  |
| Annexe 5 : Etude du déversoir .....                                  | 91  |
| Annexe 6 : Dimensionnement du bassin de dissipation.....             | 96  |
| Annexe 7 : Chenal d'évacuation .....                                 | 100 |
| Annexe 8 : Calcul du mur bajoyer .....                               | 100 |
| Annexe 9 : Conception et dimensionnement de la digue.....            | 102 |
| Annexe 10 : Dimensionnement de l'ouvrage de prise et de vidange..... | 107 |
| Annexe 11 : Notice d'impact environnemental et social .....          | 109 |
| Annexe 12 : Devis estimatif et quantitatif.....                      | 118 |
| Annexe 13 : Pièces graphiques.....                                   | 122 |

## ANNEXE 1 : ANALYSE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Les données pluviométriques utilisées sont celles de la station de synoptique Ouagadougou de 1980 à 2014.

✚ *Analyse des pluies mensuelles et annuelles*

*Tableau 30: Pluviométrie et température à la station de Ouagadougou de 1980 à 2014*

| <b>Année</b> | <b>Pluie annuelle</b> | <b>Pluie journalière maximale</b> | <b>Température moyenne</b> |
|--------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 1980         | 593,2                 | 45,7                              | 28,73                      |
| 1981         | 713,6                 | 61,5                              | 28,53                      |
| 1982         | 634,7                 | 37,1                              | 28,00                      |
| 1983         | 674,6                 | 63,3                              | 28,46                      |
| 1984         | 571,4                 | 42,8                              | 28,47                      |
| 1985         | 673,9                 | 50,4                              | 28,43                      |
| 1986         | 794,2                 | 47,2                              | 28,10                      |
| 1987         | 784,5                 | 75,6                              | 28,88                      |
| 1988         | 734,9                 | 64,2                              | 28,14                      |
| 1989         | 797,8                 | 74,9                              | 28,20                      |
| 1990         | 675,9                 | 55                                | 28,82                      |
| 1991         | 900,7                 | 105,2                             | 28,39                      |
| 1992         | 698,7                 | 53,9                              | 28,04                      |
| 1993         | 750,6                 | 54                                | 28,88                      |
| 1994         | 727,8                 | 58,2                              | 28,40                      |
| 1995         | 700,2                 | 73,1                              | 28,71                      |
| 1996         | 677,4                 | 70,3                              | 29,09                      |
| 1997         | 587,6                 | 45,2                              | 28,94                      |
| 1998         | 669,3                 | 72,4                              | 29,27                      |
| 1999         | 800,5                 | 66                                | 28,74                      |
| 2000         | 594,4                 | 58,6                              | 28,89                      |
| 2001         | 518,3                 | 49,8                              | 29,01                      |
| 2002         | 655,9                 | 58,1                              | 29,18                      |
| 2003         | 847,4                 | 62,1                              | 29,07                      |
| 2004         | 791,9                 | 55,1                              | 29,20                      |
| 2005         | 839,4                 | 75,7                              | 29,51                      |
| 2006         | 596,8                 | 36,3                              | 29,25                      |
| 2007         | 713,2                 | 116,7                             | 29,18                      |
| 2008         | 808                   | 58,4                              | 28,54                      |
| 2009         | 923,3                 | 261,3                             | 29,44                      |
| 2010         | 849,6                 | 70,4                              | 29,29                      |
| 2011         | 688,7                 | 43,8                              | 29,47                      |
| 2012         | 991,2                 | 67,8                              | 29,25                      |
| 2013         | 795,3                 | 67,3                              | 29,47                      |
| 2014         | 843,9                 | 57,2                              | 29,42                      |

Source : Agence Nationale de la Météorologie

✓ *Analyse des pluies annuelles*

L'analyse des précipitations annuelles s'est faite dans un premier temps à travers les Indices de Pluies Standardisées (IPS) et dans un second temps l'analyse fréquentielle de la série avec.

$$IPS = \frac{Pluie_{annuelle} - Pluie_{moyenne}}{Ecart\text{-}type}$$

*Tableau 31 : Indices de Pluies Standardisés*

| Année | IPS   | Année | IPS   | Année | IPS   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1980  | -1,28 | 1991  | 1,56  | 2003  | 1,07  |
| 1981  | -0,17 | 1992  | -0,31 | 2004  | 0,55  |
| 1982  | -0,90 | 1993  | 0,17  | 2005  | 0,99  |
| 1983  | -0,53 | 1994  | -0,04 | 2006  | -1,25 |
| 1984  | -1,48 | 1995  | -0,29 | 2007  | -0,17 |
| 1985  | -0,54 | 1996  | -0,50 | 2008  | 0,70  |
| 1986  | 0,57  | 1997  | -1,33 | 2009  | 1,77  |
| 1987  | 0,49  | 1998  | -0,58 | 2010  | 1,09  |
| 1988  | 0,03  | 1999  | 0,63  | 2011  | -0,40 |
| 1989  | 0,61  | 2000  | -1,27 | 2012  | 2,40  |
| 1990  | -0,52 | 2001  | -1,97 | 2013  | 0,59  |
|       |       | 2002  | -0,70 | 2014  | 1,03  |

*Tableau 32: Pluies moyennes mensuelles de Ouagadougou 1980-2014*

| Mois          | Jan. | Fév. | Mars | Avr.  | Mai   | Juin  | Juil   | Août   | Sept   | Oct   | Nov  | Déc  |
|---------------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|------|------|
| Pluie moyenne | 0,09 | 0,07 | 5,14 | 23,82 | 64,89 | 86,12 | 185,37 | 222,77 | 131,31 | 27,41 | 0,52 | 0,05 |

✓ *Ajustement des pluies annuelles*

L'analyse statistique de la série (pluies annuelles) a permis de déterminer les quantiles pour différentes périodes de retour. Elles ont été ajustées avec la Loi Normal de GAUSS.

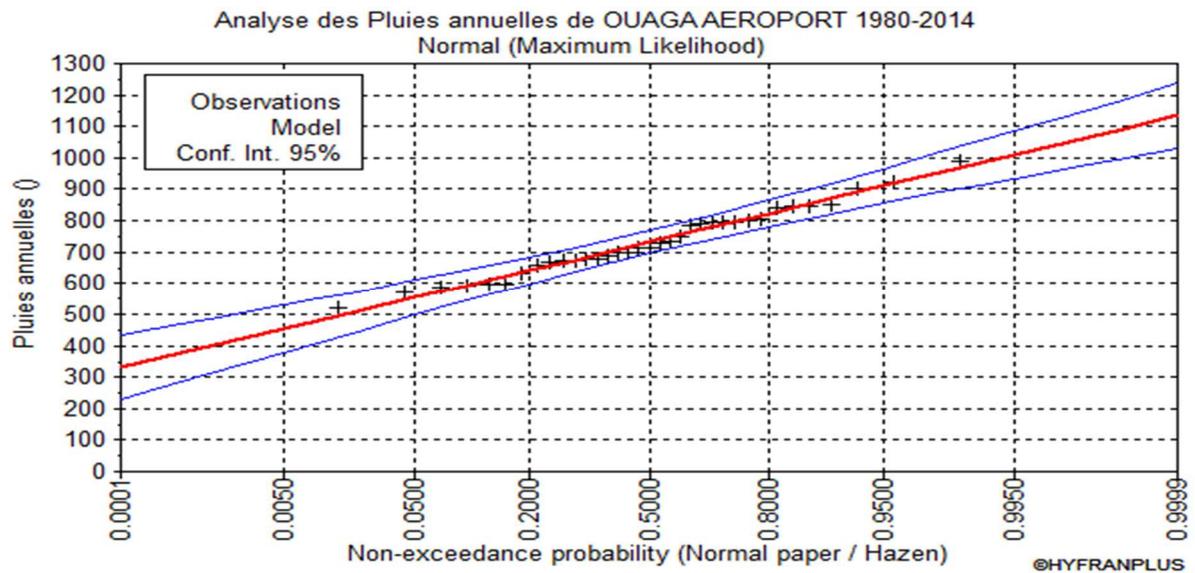


Figure 18: Ajustement des pluies moyennes annuelles

Tableau 33: Résultats de l'ajustement des pluies annuelles

| T = 1/(1-q) Temps de retour (an) | q = F(X) : probabilité de non dépassement | Valeur (mm) | Ecart type | Intervalle de Confiance (95%) |       |
|----------------------------------|---|-------------|------------|-------------------------------|-------|
| <b>10000</b>                     | 0,9999                                    | 1135        | 52,13      | 1032                          | 1237  |
| 2000                             | 0,9995                                    | 1088        | 46,91      | 996,2                         | 1180  |
| 1000                             | 0,999                                     | 1066        | 44,5       | 979,2                         | 1154  |
| 200                              | 0,995                                     | 1011        | 38,45      | 935,4                         | 1086  |
| <b>100</b>                       | 0,99                                      | 983,8       | 35,6       | 914                           | 1054  |
| 50                               | 0,98                                      | 954,3       | 32,58      | 890,4                         | 1018  |
| 20                               | 0,95                                      | 910         | 28,3       | 854,6                         | 965,5 |
| <b>10</b>                        | 0,9                                       | 870,7       | 24,85      | 822                           | 919,4 |
| 5                                | 0,8                                       | 823         | 21,37      | 781,1                         | 864,9 |
| 3                                | 0,6667                                    | 778,5       | 19,15      | 741                           | 816,1 |
| <b>2</b>                         | 0,5                                       | 732         | 18,29      | 696,1                         | 767,8 |
| 1,4286                           | 0,3                                       | 675,3       | 19,55      | 636,9                         | 713,6 |
| 1,25                             | 0,2                                       | 640,9       | 21,37      | 599                           | 682,8 |
| <b>1,111</b>                     | 0,1                                       | 593,2       | 24,85      | 544,5                         | 642   |
| 1,0526                           | 0,05                                      | 553,9       | 28,3       | 498,4                         | 609,4 |
| 1,0204                           | 0,02                                      | 509,6       | 32,58      | 445,8                         | 573,5 |
| <b>1,0101</b>                    | 0,01                                      | 480,1       | 35,6       | 410,3                         | 549,9 |
| 1,005                            | 0,005                                     | 453,1       | 38,45      | 377,8                         | 528,5 |
| 1,001                            | 0,001                                     | 397,5       | 44,5       | 310,2                         | 484,7 |
| 1,0005                           | 0,0005                                    | 375,8       | 46,91      | 283,8                         | 467,7 |
| <b>1,0001</b>                    | 0,0001                                    | 329,4       | 52,13      | 227,2                         | 431,6 |

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$\mu = 732 \text{ mm}; \sigma = 108,23 \text{ et } x = \text{valeur de la pluie annuelle}$

**Ajustement des pluies maximales journalières**

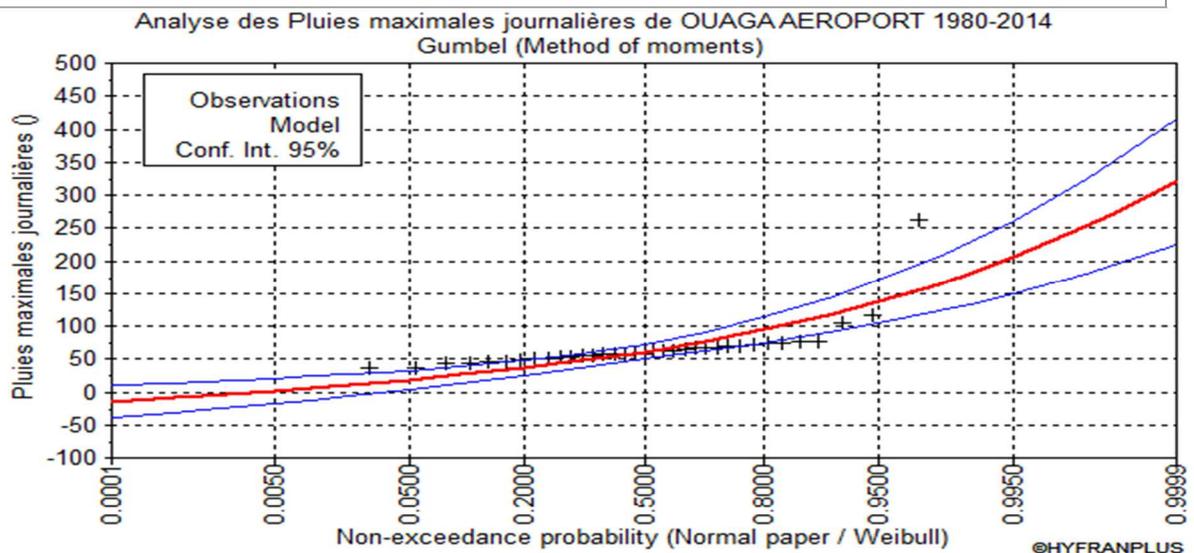
L'analyse fréquentielle s'est basée sur la loi de GUMBEL.

**Tableau 34: Résultats de l'ajustement des pluies maximales journalières**

| T = 1/(1-q) Temps de retour (an) | q = F(X) : probabilité de non dépassement | Valeur (mm)  | Ecart type   | Intervalle de Confiance (95%) |              |
|----------------------------------|---|--------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| 10000                            | 0,9999                                    | 320          | 48,55        | 224,8                         | 415,2        |
| 2000                             | 0,9995                                    | 272,9        | 40,25        | 194                           | 351,8        |
| 1000                             | 0,999                                     | 252,6        | 36,69        | 180,7                         | 324,5        |
| 200                              | 0,995                                     | 205,4        | 28,44        | 149,7                         | 261,2        |
| <b>100</b>                       | <b>0,99</b>                               | <b>185</b>   | <b>24,9</b>  | <b>136,2</b>                  | <b>233,9</b> |
| 50                               | 0,98                                      | 164,6        | 21,38        | 122,7                         | 206,5        |
| 20                               | 0,95                                      | 137,3        | 16,74        | 104,5                         | 170,1        |
| <b>10</b>                        | <b>0,9</b>                                | <b>116,3</b> | <b>13,25</b> | <b>90,28</b>                  | <b>142,2</b> |
| 5                                | 0,8                                       | 94,29        | 9,81         | 75,06                         | 113,5        |
| 3                                | 0,6667                                    | 76,8         | 7,402        | 62,29                         | 91,31        |
| <b>2</b>                         | <b>0,5</b>                                | <b>61,11</b> | <b>5,825</b> | <b>49,69</b>                  | <b>72,53</b> |
| 1,4286                           | 0,3                                       | 44,94        | 5,353        | 34,45                         | 55,44        |
| 1,25                             | 0,2                                       | 36,44        | 5,698        | 25,27                         | 47,61        |
| 1,1111                           | 0,1                                       | 25,96        | 6,589        | 13,04                         | 38,88        |
| 1,0526                           | 0,05                                      | 18,25        | 7,475        | 3,601                         | 32,91        |
| 1,0204                           | 0,02                                      | 10,44        | 8,504        | -6,229                        | 27,11        |
| 1,0101                           | 0,01                                      | 5,667        | 9,179        | -12,33                        | 23,66        |
| 1,005                            | 0,005                                     | 1,562        | 9,781        | -17,61                        | 20,74        |
| 1,001                            | 0,001                                     | -6,204       | 10,96        | -27,69                        | 15,28        |
| 1,0005                           | 0,0005                                    | -9,003       | 11,4         | -31,35                        | 13,34        |
| 1,0001                           | 0,0001                                    | -14,63       | 12,29        | -38,71                        | 9,462        |

$$F(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[ -\frac{x-u}{\alpha} - \exp \left( -\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]$$

$\alpha = 29,28 ; u = 50,38$  et  $x =$  valeur de la pluie maximale journalière



**Figure 19: Ajustement des pluies maximales journalières**

## ANNEXE 2 : ETUDES HYDROLOGIQUES

### 2.1. Caractérisation du bassin versant

Pour caractériser le bassin versant du barrage de Tampouy-Yarcé, nous avons utilisé les outils du système d'information géographique dont le logiciel ArcGIS pour déterminer ses limites.

#### 📌 La Surface S et le Périmètre P du bassin versant

La délimitation du bassin versant nous a permis d'évaluer sa surface **S** à **54,24** en **Km<sup>2</sup>** et son périmètre **P** à **39,01 Km**.

#### 📌 L'Indice de compacité KG

Appelé également coefficient de forme ou coefficient de Gravelius, est calculé par la formule suivante :

$$K_G = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{S}} = 0,282 \times \frac{39,01}{\sqrt{54,24}}$$

$$\boxed{K_G = 1,49}$$

#### 📌 La longueur du rectangle équivalent

C'est la longueur qu'aurait un rectangle de même dimensions (surface S et de périmètre P) que le bassin versant. Elle est calculée par la formule suivante :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4} = \frac{39,01 + \sqrt{39,01^2 - 16 * 54,24}}{4} = 16,15$$

$$\boxed{L = 16,15 \text{ Km}}$$

#### 📌 La pente moyenne Imoy

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

$$I_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{\sqrt{S}} = \frac{369 - 277}{\sqrt{54,24}}$$

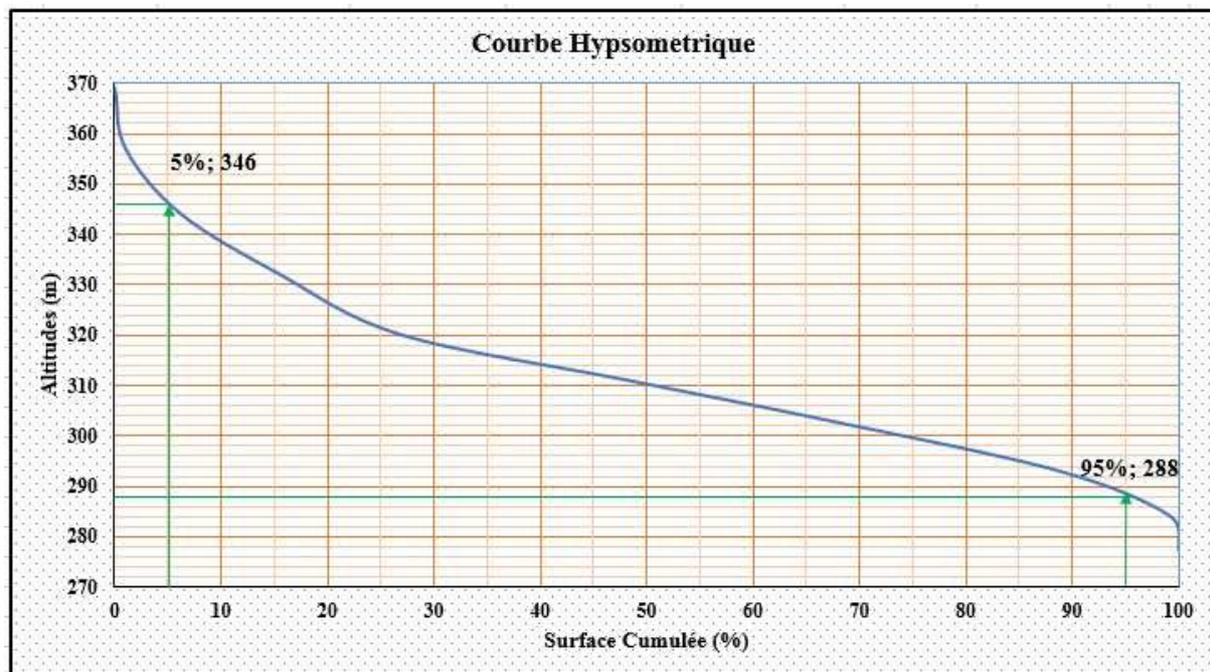
$$\boxed{I_{\text{moy}} = 12,49 \text{ m/km}}$$

#### 📌 Hypsométrie, Indice global de pentes et pentes transversales

Après la délimitation du bassin versant et génération des courbes de niveau, nous avons procédé au calcul des surfaces en adoptant des équidistances variables entre les courbes de niveau avec le logiciel ArcGIS. Ainsi, on obtient les résultats suivants :

**Tableau 35: Données courbe hypsométrique**

| Altitudes (m) | Surface partielle  |                    | Surface Cumulée    |        |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|
|               | (m <sup>2</sup> )  | (km <sup>2</sup> ) | (Km <sup>2</sup> ) | (%)    |
| 369           | 0                  | 0                  | 0                  | 0      |
| 357           | 541047,61          | 0,54               | 0,54               | 1,00   |
| 344           | 2832790,65         | 2,83               | 3,37               | 6,22   |
| 332           | 5036474,68         | 5,04               | 8,41               | 15,51  |
| 320           | 6189973,76         | 6,19               | 14,60              | 26,92  |
| 311           | 11481373,20        | 11,48              | 26,08              | 48,10  |
| 303           | 10223916,36        | 10,22              | 36,31              | 66,95  |
| 293           | 11725985,66        | 11,73              | 48,03              | 88,57  |
| 284           | 5716746,06         | 5,72               | 53,75              | 99,11  |
| 277           | 480105,61          | 0,48               | 54,23              | 100,00 |
| <b>Totale</b> | <b>54228413,59</b> | <b>54,23</b>       | -                  | -      |



**Figure 3 : Courbe hypsométrique**

Le tracé de la courbe hypsométrique nous a permis de déterminer les altitudes à 5% et 95% de la surface cumulée qui sont respectivement de l'ordre de **346** m et **288** m pour le calcul de l'indice global des pentes dont la formule est la suivante :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = \frac{346 - 288}{16,15}$$

|                           |
|---------------------------|
| $I_g = 3,59 \text{ m/km}$ |
|---------------------------|

Les pentes transversales **It** sont calculées en six profils transversales différents. Ensuite nous avons fait une moyenne pour obtenir une seule valeur d'indice de pente transversale. Les résultats obtenus sont :

**Tableau 36: Données de calcul de la pente transversale moyenne**

| Profil                   | Altitude maximale (m) | Altitude minimale (m) | Longueur (Km) | It (m/km)    |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|--------------|
| 1                        | 304,64                | 281,94                | 2,051         | 11,07        |
| 2                        | 317,00                | 286,58                | 1,607         | 18,93        |
| 3                        | 328,56                | 292,38                | 2,99          | 12,10        |
| 4                        | 332,97                | 300,74                | 1,536         | 20,99        |
| 5                        | 330,19                | 307,10                | 0,9474        | 24,37        |
| 6                        | 346,09                | 325,48                | 1,142         | 18,05        |
| <b>Dénivelée Moyenne</b> |                       |                       |               | <b>17,58</b> |

Après calcul de It moyenne, on remarque que celles-ci est trop différente (> à 20%) de l'Indice global de pente, on calcule alors un indice global de pente corrigé (Igcorr) qui vaut :

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

avec :

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

Dans notre cas, 5 km < L < 25 km, donc n =3 et

$$I_{gcorr} = \frac{(3 - 1) \times 3,59 + 17,58}{3} \quad \boxed{I_{gcorr} = 8,26 \text{ m/km}}$$

### La densité de drainage Dd

La densité de drainage est le rapport entre la longueur totale des cours d'eau dans le bassin versant et de la superficie de celui-ci. La longueur totale des cours d'eau est déterminée par le logiciel ArcGIS et vaut **119,16 km**.

$$D_d = \frac{\sum l_i}{S} = \frac{119,16}{54,24} \quad \boxed{D_d = 2,2 \text{ km/km}^2}$$

### Dénivelé spécifique Ds

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

$$D_s = I_{gcorr} \times \sqrt{S} = 8,26 \times \sqrt{54,24}$$

$$D_s = 60,80 \text{ m}$$

La dénivelée spécifique (Ds) est comprise entre 50 et 100 m et d'après la classification des reliefs en fonction de la dénivelée spécifique selon l'ORSTOM, on a un relief modéré dans bassin versant de Tampouy-Yarcé.

### Classification du bassin versant

Le bassin versant étudié a une superficie de 54,24 km<sup>2</sup>, donc c'est un bassin de classe 3 (40 < S < 300-500 km<sup>2</sup>) selon FAO 54. En plus le bassin versant a une pente longitudinale moyenne de 0,35 % < 0,5 % et selon la classification des bassins versant en fonction de de la pente de l'ORSTOM, le bassin versant est de classe R2 (pente faible). Par ailleurs en se référant au type de sols le plus souvent rencontrés qui sont des sols ferrugineux lessivés plus ou moins gravillonnaires, les vertisols et les sols bruns sur roche basaltique, nous pouvons mettre ce bassin dans la classe d'infiltrabilité RI.

Nous retenons que la classe de notre bassin est de **type R2RI**.

### 2.2. Période de retour

Selon les recommandations allant dans le sens de la sécurité, le choix de la durée de retour de la crue de projet en fonction des cas suivants :

| $H^2\sqrt{V}$              | < 5 | 5 à 30 | 30 à 100 | 100 à 700 | >700  |
|----------------------------|-----|--------|----------|-----------|-------|
| Période de retour (années) | 100 | 500    | 1000     | 5000      | 10000 |

Dans notre cas, on H = 5,25m et V 1 500 000 m<sup>3</sup> d'où

$$H^2\sqrt{V} = 5,25^2 * \sqrt{1,5} = 33,76$$

La période de retour  $T = 1000 \text{ ans}$

Cependant, pour des raisons d'optimisation des ressources et de réalité du terrain, la crue de période de retour 100 ans sera considéré.

### 2.3. Prédétermination de la crue de projet

#### Détermination de la crue décennale

Données caractéristiques du bassin versant et celles climatiques

**Tableau 37: Données pour la prédétermination des crues**

| Situation                           | Région du Plateau central/BF |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Surface                             | 54,24 Km <sup>2</sup>        |
| Pluviométrie moyenne annuelle       | 732 mm régime sahélien       |
| Pluie journalière décennale de 24 h | 116,3 mm                     |
| Pluie journalière centennale        | 185 mm                       |
| Pente moyenne                       | 12,49 m/km                   |
| Indice global de pente corrigée     | 8,26 m/km                    |
| Indice de compacité                 | 1,49                         |
| Coefficient majorateur égal « m »   | 1,045                        |

✚ *Le coefficient d'abattement de Villaume*

Il nous permet de calculer la pluie décennale moyenne  $P_{m10}$  et se calcule comme suit :

|  |  |
|--|--|
| $A = 1 - \frac{(161 - 0,042 * P_{an})}{1000} * \log S$ | <b>P<sub>an</sub></b> : pluviométrie annuelle en mm =732<br><b>S</b> : surface du bassin versant en km <sup>2</sup> = 54,24<br><b>A</b> : coefficient abattement |
|--|--|

L'application numérique donne **A = 0,774**

✚ *Le coefficient de ruissèlement décennal (Kr10)*

✓ La méthode ORSTOM de PUECH et CHABI-GONNI

Cette méthode est fonction de la zone climatique et du substrat, et utilise des résultats des régressions obtenues sur la base du substrat géologique et de la précipitation annuelle.

**Tableau 38 : détermination de Kr10 par la méthode de PUECH**

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

En application des formules du tableau 10 à la géologie de notre bassin, on obtient le tableau ci-dessous.

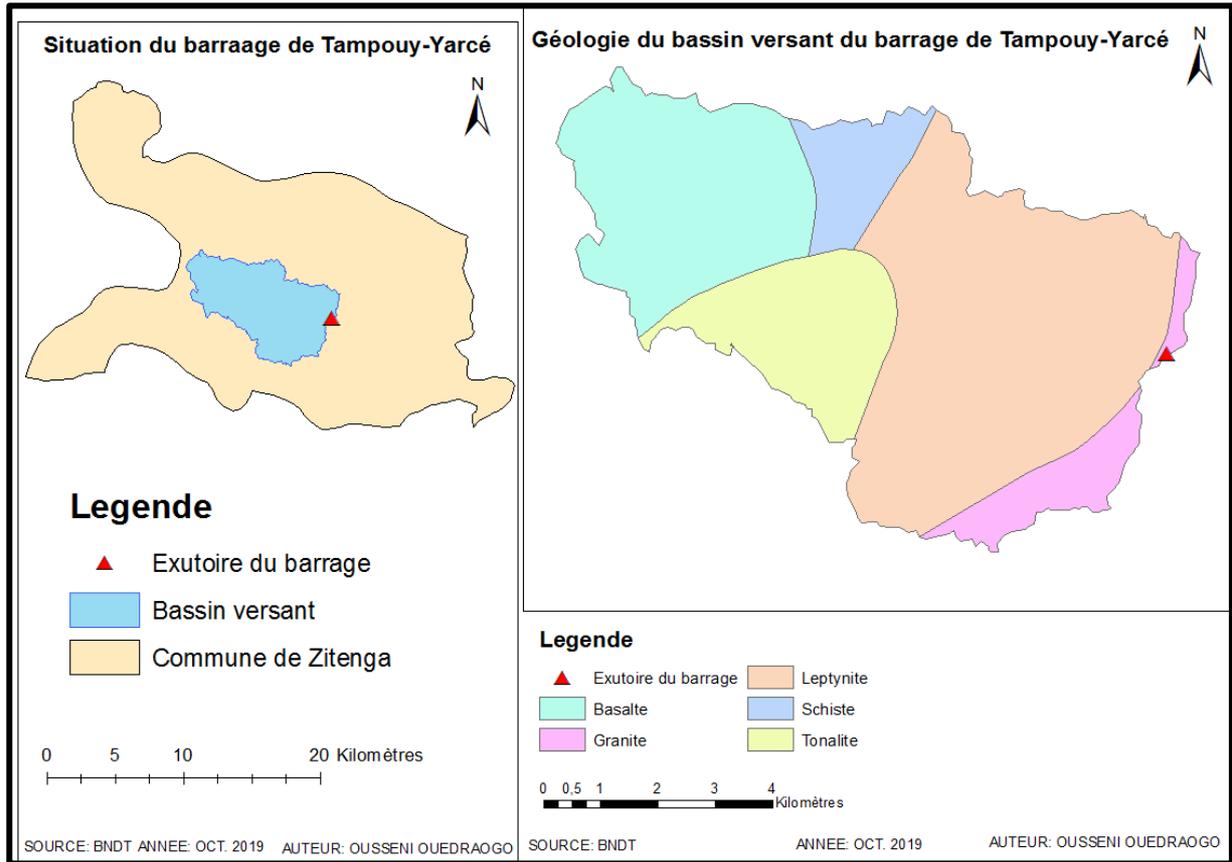


Figure 4 : Carte géologique du bassin versant

**Tableau 39: Résultats des calculs de  $K_{r10}$  en fonction du substratum du bassin**

| Type de roche | Altération | Surface     | ai (%) | $K_{r10} i$ | $K_{r10} i \cdot ai$ |
|---------------|------------|-------------|--------|-------------|----------------------|
| Schiste       | Schiste    | 3451741,517 | 6,36   | 31,19       | 198,49               |
| Basalte       | Argile     | 13411269,44 | 24,73  | 41,47       | 1025,46              |
| Tonalite      | Sable      | 7829156,591 | 14,43  | 9,98        | 144,05               |
| Granite       | Granite    | 3868717,298 | 7,13   | 27,70       | 197,58               |
| Leptynite     | Gneiss     | 25679051,48 | 47,34  | 27,70       | 1311,49              |
| Total/moyenne | -          | 54239936,32 | 100    | -           | <b>28,77 %</b>       |

✓ La méthode ORSTOM de détermination de  $K_{R10}$

Sur la base des équations analytiques de forme générales présentées ci-dessous, nous avons déterminé les coefficients de ruissellement  $K_r$  pour  $P_{10}= 70$  mm et  $P_{10}= 100$  mm

|  |   |
|--|---|
| $K_{r70} \text{ ou } K_{r100} = \frac{a}{(S + b)} + c$ | <p><b><math>K_{r70}</math></b> : Coefficient de ruissellement décennal</p> <p><b><math>K_{r100}</math></b> : Coefficient de ruissellement centennal</p> <p><b>S</b> : Superficie du bassin versant en <math>km^2</math></p> |
|--|---|

**Tableau 40: détermination de  $K_{r10}$  pour  $P_{10} = 70$  mm avec RI en zone sahélienne**

| <b>Ig</b>   | <b>S</b>   | <b>a</b> | <b>b</b> | <b>c</b> | <b>Kr10</b>   |
|-------------|--|----------|----------|----------|---------------|
| <b>7</b>    | 54,24  | 239      | 17,7     | 14,5     | 17,82 %       |
| <b>15</b>   | 54,24  | 329      | 18,5     | 16,5     | 21,02 %       |
| <b>8,26</b> | Pour Ig = Ig corr = 8,26 m/km, Kr10 est obtenue par interpolation entre les valeurs de kr10 pour Ig = 7 et Ig = 15 |          |          |          | <b>18,3 %</b> |

**Tableau 41 : détermination de  $Kr_{10}$  pour  $P_{10} = 100$  mm avec RI en zone sahélienne**

| <b>Ig</b>   | <b>S</b>   | <b>a</b> | <b>b</b> | <b>c</b> | <b>Kr10</b>   |
|-------------|--|----------|----------|----------|---------------|
| <b>7</b>    | 54,24  | 300      | 20       | 15       | 19,04%        |
| <b>15</b>   | 54,24  | 421      | 20,5     | 17,5     | 23,13%        |
| <b>8,26</b> | Pour Ig = Ig corr = 8,26 m/km, Kr10 est obtenue par interpolation entre les valeurs de kr10 pour Ig = 7 et Ig = 15 |          |          |          | <b>19,68%</b> |

Pour une pluie décennale P10 supérieure à P10 = 100 mm la valeur de Kr10 s'obtient par extrapolation entre les valeurs de Kr pour P10 = 70 mm et P10 = 100 mm d'où :

$$Kr_{10 P10=116,3} = \frac{Kr_{10 P10=100} - Kr_{10 P10=70}}{100 - 70} * (116,3 - 100) + Kr_{10 P10=100}$$

Après application numérique, on trouve  $Kr_{10 P10=116,3} = 20,42$

$$Kr_{10} = 20,42\%$$

Pour la suite nous retenons  $Kr_{10} = 28,77\%$  la valeur maximale des deux méthodes

🔧 *Calcul du Temps de base (Tb) et du temps de montée (Tm)*

En zone sahélienne, le temps de base est donné par :  $Tb$  ou  $Tm = a * S^{0,35} + b$  avec a et b des paramètres qui sont fonction de l'indice global pente, de la perméabilité.

**Tableau 42 : Résultats des calculs des temps de base et de montée**

|                        | <b>Ig (m/km) et S (km<sup>2</sup>)</b> | <b>a</b>                             | <b>b</b> | <b>Temps</b>  |
|------------------------|--|--------------------------------------|----------|---------------|
| <b>Temps de base</b>   | 7 et S > 6 km <sup>2</sup>             | 126                                  | 100      | 609,78        |
|                        | 10 et S > 25 km <sup>2</sup>           | 81                                   | 80       | 407,72        |
|                        | Ig= 8,26 et S= 54,24 km <sup>2</sup>   | Interpolation entre Ig = 7 et Ig= 10 |          | <b>525,19</b> |
| <b>Temps de montée</b> | 7 et S > 6 km <sup>2</sup>             | 32                                   | 23       | 152,47        |
|                        | 15 et S > 50 km <sup>2</sup>           | 13                                   | 15       | 67,60         |
|                        | Ig= 8,26 et S= 54,24 km <sup>2</sup>   | Interpolation entre Ig = 7 et Ig= 15 |          | <b>139,14</b> |

🚧 *Le coefficient de pointe ( $\alpha_{10}$ )*

C'est le rapport du débit maximum ruisselé au débit moyen. On admet que  $\alpha_{10}$  est voisin de **2,6** quelle que soit la superficie du bassin.

🚧 *Utilisation de la check-list pour corriger le  $K_{r10}$*

Selon la carte d'occupation du sol, nous sommes dans un bassin dont les zones de cultures sont très importantes (84% du bassin), la check-list (3a4a) recommande une majoration du  $K_r$ .

|                                 |     |     |
|---------------------------------|-----|-----|
| Zone culture %                  | 40  | 60  |
| Coefficient majorateur de $K_r$ | 20% | 50% |

Dans notre cas, les zones de culture avoisinent les 84% ; le coefficient majorateur obtenu par extrapolation est **66%**. Ainsi, on aura :

$$K_{r10 \text{ final}} = K_{r10} * 1,66 = \mathbf{47,72\%}$$

🚧 *Calcul de la Crue décennale selon la méthode ORSTOM*

✓ **Paramètres de calcul**

| Paramètres | A     | $P_{10}$ (mm) | $K_{r10}$ (%) | $\alpha_{10}$ | $T_{b10}$ (min) | $T_{m10}$ (min) |
|------------|-------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Valeurs    | 0,774 | 116,3         | 47,72         | 2,6           | 525,19          | 139,14          |

✓ **Valeur de la crue décennale**

Elle se calcule par la formule suivante :  $Q_{10} = m * Q_{r10}$

Avec m, le coefficient de majoration qui est fonction de classe d'infiltrabilité du bassin et de sa zone climatique et  $Q_{r10}$  le débit de ruissellement décennale qui est donné par la relation ci-après.

$$Q_{r10} = \left( A \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{T_{b10}} \right)$$

Après application numérique, on obtient  $Q_{r10} = \mathbf{192,42 \text{ m}^3/\text{s}}$

Pour la valeur de m, nous prenons 1,045 car notre bassin versant est de classe d'infiltrabilité RI et se situe en zone sahélienne.

D'où,  $Q_{10} = \mathbf{201,079 \text{ m}^3/\text{s}}$

✓ **Vérification de la check-list (3a1e)**

Le bassin a une forme allongée la check-list recommande une réduction du débit en fonction de la valeur de Icomp.

|                      |     |      |      |      |
|----------------------|-----|------|------|------|
| Valeur de Icomp      | 1,3 | 1,42 | 1,54 | 1,92 |
| Facteur de réduction | 20% | 30%  | 40%  | 50%  |

L'indice de compacité de notre bassin est de 1,49. Par interpolation linéaire, on trouve un facteur de réduction du débit de 38,4%. D'où :

$$Q_{10} = (1 - 0,348) * 201,079 = 123,87 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### Calcul de la crue décennale selon la méthode CIEH

C'est une méthode statistique avec plusieurs variantes fonction de l'appartenance du bassin à un découpage climatique, une position géographique, un découpage pour un pays ou un groupe de pays. Les données nécessaires à l'application de cette méthode sont les suivantes :

- ✓ la surface du bassin versant : S [Km<sup>2</sup>]
- ✓ la pluie annuelle moyenne : Pan [mm]
- ✓ l'indice global de pente: Ig [m/km]
- ✓ le coefficient de ruissellement décennal : Kr [%]

La formule donnant le débit décennal est :

$$Q_{10} = a \times S^b \times I_{gcorr}^c \times K_{r10}^d \times P_{an}^e \times \dots$$

Avec *a*, *b*, *c*, *d* et *e* des coefficients d'ajustement déterminés par régressions multiples. Dans notre cas, nous utiliserons trois (03) équations de régressions les plus susceptibles d'approcher la crue décennale en fonction des paramètres les plus représentatifs que sont S, Ig et Kr<sub>10</sub>. Elles présentent un nombre d'échantillons de taille importante et un coefficient de corrélation élevé et se situent dans la zone pluviométrique et géographique de BURKINA FASO. Ces équations sont les suivantes :

- ❖ équation n°12 : Découpage par zone Pan < 1000 mm en fonction de S, Ig, et Kr<sub>10</sub>.

$$Q_{10} = 0,095 \times S^{0,643} \times I_g^{0,406} \times K_{r10}^{1,038} ;$$

- ❖ équation n°41 : Découpage par pays ou groupe de pays avec S et Kr<sub>10</sub>.

$$Q_{10} = 0,407 \times S^{0,532} \times K_{r10}^{0,941}$$

- ❖ équation n°42 : découpage par pays ou groupe de pays avec S, Ig, Kr<sub>10</sub>.

$$Q_{10} = 0,0912 \times S^{0,643} \times I_g^{0,399} \times K_{r10}^{1,019}$$

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau ci-après.

**Tableau 43: Résultats de calcul de la crue décennale selon la méthode CIEH**

| Paramètres           | Valeurs | Valeurs de Q10 en m <sup>3</sup> /s |        |        |               |
|----------------------|---------|-------------------------------------|--------|--------|---------------|
|                      |         | N°12                                | N°41   | N°42   | Retenu        |
| S (km <sup>2</sup> ) | 54,24   | 161,42                              | 129,49 | 141,88 | <b>161,42</b> |
| Igcor (m/km)         | 8,26    |                                     |        |        |               |
| Kr10 (%)             | 47,72   |                                     |        |        |               |

✓ **Vérification de la check-list (3a1b)**

Le débit maximal obtenu est à réduire de 30%. Ce qui donne :

$$Q_{10CIEH} = 0,7 * 161,42 = 113 \text{ m}^3/\text{s}$$

Des débits calculés par les deux méthodes, nous retiendrons celui de la méthode ORSTOM pour la suite.

🚩 *Méthode de Gradex*

La crue du projet correspond à la crue centennale et est donnée par la relation suivante :

$$Q_{100} = C \times Q_{10}$$

Avec Q10, la crue décennale et C, un coefficient de crue qui est fonction des paramètres suivants :

- ✓ la pluie centennale P<sub>100</sub> ;
- ✓ la pluie décennale P<sub>10</sub>
- ✓ le coefficient de ruissellement décennal Kr10
- ✓ le temps de base décennale Tb10

**Calcul du coefficient de crue C**

La formule de calcul du coefficient de crue est :

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{\left(\frac{T_{b10}}{24}\right)^{0,12}}{K_{r10}} = 1 + \frac{185 - 116,3}{116,3} \times \frac{\left(\frac{525,19}{24 * 60}\right)^{0,12}}{0,4772}$$

**C= 2,10**

**Calcul de la crue centennale Q<sub>100</sub>**

$$Q_{100} = C \times Q_{10}$$

$$Q_{100} = 2,1 * 123,87 = 259,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = 259,60 \text{ m}^3/\text{s}$$

**2.4. Hydrogramme de crue schématique**

✓ **Détermination de Q**

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

$$\frac{Q}{Q_{max}} = \frac{Q}{80} = \frac{2}{2,6} * \frac{525,19 - 2,6 * 139,14}{525,19 - 2 * 139,14} = 0,5091$$

D'où  $Q = 132,17 \text{ m}^3/\text{s}$

Tableau 44: Données de tracé de l'Hydrogramme de crue

|                    |          |              |               |          |
|--------------------|----------|--------------|---------------|----------|
| <b>Q (m³/s)</b>    | <b>0</b> | <b>259,6</b> | <b>132,17</b> | <b>0</b> |
| <b>Temps (min)</b> | 0        | 139,14       | 207,45        | 525,19   |

## 2.5. Crue de Sécurité

$$Q_T = R_{(TQ)} * Q_{10}$$

$Q_{10}$  débit décennale

$Q_T$  = débit relatif à une période de retour donnée

$$R_{TQ} = Q_T / Q_{10} = 1 + (P_T - P_{10}) / P_{10} * \left( \left( \frac{T_b}{24} \right) \right)^{0,12} / K r_{10}$$

A partir de  $Q_{10}$ , on déduit les crues de durée de retour 100, 1000, et 10000 ans

| <b>P(mm)</b> | <b>R<sub>TQ</sub></b> | <b>Q<sub>T</sub> (m³/s)</b> |               |               |
|--------------|-----------------------|-----------------------------|---------------|---------------|
|              |                       | <b>QT</b>                   | <b>ORSTOM</b> | <b>CIEH</b>   |
| <b>320</b>   | 4,249                 | 10 000                      | 526,34        | 480,14        |
| <b>252,6</b> | <b>3,174</b>          | <b>1 000</b>                | <b>393,17</b> | <b>358,66</b> |
| <b>185</b>   | 2,10                  | 100                         | 259,60        | 236,82        |

La crue de sécurité celle qui correspond à la durée de retour 1000 ans selon la relation

$H^2 * V^{0,5}$  trouvé plus haut. Nous adoptons que la crue de sécurité est de 393,17 m³/s.

## 2.6. Crue de rupture

Elle est approchée par la formule suivante

|   |   |
|---|---|
| $Q_{rupt} = 2 * l * (a + 0.2)^{1.5} + 0.15 * L$ | <p><math>l</math> = Longueur du déversoir ;<br/> <math>L</math> = Longueur de la digue sans déversoir ;<br/> <math>a</math> = Revanche total.<br/> <math>Q_{rupt}</math> : la crue de rupture</p> |
|---|---|

$$Q_{rupt} = 2 * 160 * (1,75 + 0,2)^{1,5} + 0,15 * 1490$$

$$Q_{rupt} = 1094,87 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 2.6. Apports d'eau du bassin versant

C'est la quantité d'eau susceptible d'arriver à l'exutoire du barrage pendant une période considérée. Ces apports peuvent être évalués par la formule ci-dessous :

$$V = K_e * S * P$$

Avec :

- ✓ V : volume en m<sup>3</sup> ;
- ✓ P : Pluviométrie annuelle (mm) ;
- ✓ S : Superficie du bassin versant km<sup>2</sup>.
- ✓  $k_e$  : Coefficient d'écoulement correspondant au rapport entre la lame d'eau ruisselée (Lr) et celle précipitée (P).

 *La méthode du déficit d'écoulement de Coutagne*

La lame ruisselée est le reste de la pluie déduite du déficit d'écoulement (D) dont l'estimation se fera par la **formule de Coutagne** ci-dessous présentée.

$$D = P - \lambda P^2; \text{ si } P(m) \in \left[ \frac{1}{8\lambda}; \frac{1}{2\lambda} \right]; \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 * T}$$

Avec T la température moyenne annuelle (28,9°C) évaluée à partir des données de la station météo de Ouagadougou .

Par application numérique on obtient :

*Tableau 45: Paramètres d'évaluation des apports liquides*

| Désignation   | Expression   | Valeur       |
|---|--|--------------|
| $\lambda$   | $\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 * T} = \frac{1}{0,8 + 0,14 * 28,9}$ | 0,21         |
| $\left[ \frac{1}{8\lambda}; \frac{1}{2\lambda} \right]$ | $\frac{1}{8 * 0,21}; \frac{1}{2 * 0,21}$                           | [0,61; 2,42] |
| $P(m)$  | $\frac{P(mm)}{1000} = \frac{732}{1000}$                            | 0,732        |
| $D(m)$  | $P - \lambda P^2 = 0,732 - 0,21 * 0,732^2$                         | 0,621        |
| Lame ruisselée Lr(mm)                                   | $P - D = 0,732 - 0,621$  | 0,111        |
| Coefficient d'écoulement $K_e$ (%)                      | $\frac{Lr}{P} = \frac{0,111}{0,732}$                               | 15,12        |
| $K_{e5}$ (%)  | $0,7 * K_e = 0,7 * 15,12$  | 10,6         |
| $K_{e10}$ (%)   | $0,5 * K_e = 0,5 * 15,12$  | 7,6          |

**Tableau 46: Apports liquides avec la méthode de Coutagne**

| Désignation                          | Annuelle     | Quinquennale sèche | Décennale sèche     |
|--------------------------------------|--------------|--------------------|---------------------|
| Pluie (mm)                           | 732          | 640,90             | 593,20              |
| Superficie bassin (km <sup>2</sup> ) | 54,24        | 54,24              | 54,24               |
| Déficit d'écoulement D (mm)          | 621,4        | 573,1              | 548,4               |
| Lame ruisselée Lr (mm)               | 110,6        | 67,8               | 44,8                |
| Coefficient d'écoulement Ke (%)      | 15,12        | 10,6               | 7,6                 |
| Apports liquides (m <sup>3</sup> )   | 6 001 421,31 | 3 678 166,18       | <b>2 431 723,44</b> |

 **La méthode RODIER (1975)**

**Tableau 47: Paramètres de calcul des apports avec la méthode de Rodier**

|   |              |
|---|--------------|
| Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> ) | <b>54,24</b> |
| Régime climatique                               | Sahélien     |
| Pluie médiane (mm)                              | 713,6        |
| Densité du réseau km/km <sup>2</sup>            | 2,2          |
| Dénivelé spécifique %                           | 60,8         |
| Bassin type retenu                              | Gagara-ouest |

A partir de la figure 44 (manuel pour l'estimation des crues et apports du bulletin 54 de la FAO), nous lisons pour chaque fréquence cumulée au dépassement F choisi, les lames ruisselées pour  $P_{med} = 750$  mm et  $P_{med} = 400$  mm. La lame d'eau ruisselée de la pluie médiane  $P_{med} = 713,6$  mm s'obtient par la relation suivante :

$$\log(L_{med\ 713,6}) = \log(L_{med\ 400}) + [\log(L_{med\ 750}) - \log(L_{med\ 400})] * \frac{713,6 - 400}{750 - 400}$$

$$L_{med\ 713,6} = 10^{\log(L_{med\ 713,6})}$$

En application numérique on obtient le tableau ci-dessous.

**Tableau 48 : Apports liquides avec la méthode de Rodier**

| Période de retour            | Décennale sèche  | Quinquennale sèche | Médiane   | Quinquennale humide | Décennale humide |
|------------------------------|------------------|--------------------|-----------|---------------------|------------------|
|                              | 10               | 5                  | 2         | 5                   | 10               |
| Fréquence F                  | 0,9              | 0,8                | 0,5       | 0,2                 | 0,1              |
| Pluie annuelle               | 593,2            | 640,9              | 713,6     | 823                 | 870,7            |
| L <sub>med750</sub>          | 58,33            | 79,17              | 137,5     | 200                 | 257,14           |
| L <sub>med400</sub>          | 17,1             | 26,43              | 50        | 87,5                | 116,67           |
| Log (L <sub>med713,6</sub> ) | 1,710            | 1,849              | 2,093     | 2,264               | 2,374            |
| L <sub>med713,6</sub>        | 51,342           | 70,633             | 123,769   | 183,524             | 236,851          |
| Ke (%)                       | 8,66             | 11,02              | 16,91     | 22,30               | 27,20            |
| Apport (m <sup>3</sup> )     | <b>2 772 455</b> | 3 814 189          | 6 683 529 | 9 910 270           | 12 789 970       |

Nous remarquons que les apports en année décennale des deux méthodes sont très proches. On admet alors que l'apport moyen de la décennale sèche est de **2 608 249 m<sup>3</sup>** soit la moyenne des deux méthodes.

## ANNEXE 3 : ETUDE DE LA CUVETTE

### 3.1. Evaluation des besoins

#### Evaluation des besoins en eau pastorale

Pour l'évaluation des besoins en eau des animaux, nous avons considéré les données cheptels fournis par les enquêtes socioéconomiques. Cette enquête a évalué cheptels à environ **3 446** gros ruminants et **13 727** petits ruminants soit un équivalent de **6189** Unité de Bétail Tropical (UBT) au total si on considère qu'une UBT équivaut à cinq petits ruminants. Pour leurs besoins en eau, nous considérons **40 l/j** pour une UBT. Les résultats de l'estimation des besoins en eau pastorale sont résumés ci-dessous.

*Tableau 49: Evaluation des besoins en eau pastorale*

| Libellé                 | Nombre | Equivalence en | Besoins (l/j) | Besoins (m <sup>3</sup> /j) |
|-------------------------|--------|----------------|---------------|-----------------------------|
| <b>Bovins</b>           | 3 446  | 6189           | 247560        | 248                         |
| <b>Petits ruminants</b> | 13 727 |                |               |                             |

#### Evaluation des besoins en eau agricole

Les besoins en eau de chaque culture sont déterminés par la formule suivante :

|   |                  |
|---|------------------|
| Besoins brute   | $BB = BN/E$      |
| Besoins net   | $BN = ETM - Pe$  |
| Evapotranspiration maximale   | $ETM = Kc * ET0$ |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ET0 : Evapotranspiration de référence</li> <li>✓ Kc : coefficient cultural (fonction la culture et de son stade de développement)</li> <li>✓ Pe : Pluie efficace (prit égale à 80% de la pluie considérée)</li> <li>✓ E : efficience du réseau d'irrigation (prit à 60%).</li> </ul>   |                  |
| <p>Pour augmenter la chance de garantir l'eau pour l'irrigation, nous avons estimé les besoins en considérant un réseau gravitaire avec une efficience de 60%. Les besoins de chaque spéculation sont estimés par mois durant son cycle et pour la synthèse nous considérons la consommation maximale mensuelle possible. Ceci en vue de pouvoir estimer la demande maximale en eau d'irrigation pouvant avoir lieu au niveau du périmètre.</p> |                  |

**Tableau 50: Données climatique de la zone d'étude**

| <b>Mois</b>      | <b>Température Min</b> | <b>Température Max</b> | <b>Humidité</b> | <b>Vent</b> | <b>Soleil</b> | <b>Radiation solaire</b> | <b>ET<sub>0</sub></b> |
|------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-------------|---------------|--------------------------|-----------------------|
| <b>Unité</b>     | °C                     | °C                     | %               | km/jr       | heure         | MJ/m <sup>2</sup> /jr    | mm/jr                 |
| <b>Janvier</b>   | 16,1                   | 33,3                   | 32              | 199         | 8,2           | 18,9                     | 5,77                  |
| <b>Février</b>   | 19,1                   | 36,2                   | 32              | 199         | 8,1           | 20,2                     | 6,38                  |
| <b>Mars</b>      | 23,1                   | 38,3                   | 33              | 207         | 8             | 21,3                     | 7,12                  |
| <b>Avril</b>     | 25,9                   | 38,9                   | 41              | 233         | 7,1           | 20,5                     | 7,38                  |
| <b>Mai</b>       | 25,6                   | 37,2                   | 58              | 268         | 7,8           | 21,3                     | 6,88                  |
| <b>Juin</b>      | 23,7                   | 34,2                   | 70              | 251         | 7,6           | 20,6                     | 5,63                  |
| <b>Juillet</b>   | 22,4                   | 31,8                   | 87              | 225         | 6,8           | 19,6                     | 4,29                  |
| <b>Août</b>      | 21,9                   | 30,8                   | 85              | 190         | 6,1           | 18,8                     | 4,06                  |
| <b>Septembre</b> | 21,9                   | 32                     | 79              | 164         | 6,5           | 19,1                     | 4,33                  |
| <b>Octobre</b>   | 22,6                   | 35,3                   | 63              | 164         | 8,2           | 20,5                     | 5,29                  |
| <b>Novembre</b>  | 19,3                   | 35,8                   | 47              | 156         | 8,6           | 19,6                     | 5,38                  |
| <b>Décembre</b>  | 16,8                   | 33,6                   | 41              | 173         | 8,2           | 18,3                     | 5,22                  |
| <b>Moyenne</b>   | 21,5                   | 34,8                   | 56              | 202         | 7,6           | 19,9                     | 5,64                  |

Source : ClimWat 2.0 for CROPWAT, Station de Ouagadougou

*Tableau 51: Evaluation des besoins en eau par culture*

| Mois   |                           | Décembre | Janvier | Février | Mars   | Avril  |
|--|---------------------------|----------|---------|---------|--------|--------|
| <b>Nombre de jours</b>                                   |                           | 31       | 31      | 28      | 31     | 30     |
| <b>Pluie mensuelle (mm)</b>                              |                           | 0,05     | 0,09    | 0,07    | 5,14   | 23,82  |
| <b>Pluie efficace (mm) =SI(P&gt;=20;P*0,8;si non; P)</b> |                           | 0,05     | 0,09    | 0,07    | 5,14   | 19,06  |
| <b>ET0 journaliere (mm/j)</b>                            |                           | 5,22     | 5,77    | 6,38    | 7,12   | 7,38   |
| <b>ET0 mensuelle (mm)</b>                                |                           | 161,82   | 178,87  | 178,64  | 220,72 | 221,40 |
| <b>Maïs</b>  | Kc Maïs                   | 0,54     | 0,88    | 1,15    | 0,77   | 0,70   |
|  | ETM mensuelle (mm)        | 87,70    | 157,23  | 205,44  | 170,52 | 51,66  |
|  | Besoins net mensuels (mm) | 87,64    | 157,14  | 205,37  | 165,39 | 45,31  |
| <b>Tomate</b>  | Kc Tomate                 | 0,46     | 0,75    | 1,04    | 1,03   | 0,80   |
|  | ETM mensuelle (mm)        | 74,39    | 134,15  | 185,02  | 226,42 | 147,60 |
|  | Besoins net mensuels (mm) | 74,33    | 134,06  | 184,95  | 221,28 | 131,72 |
| <b>Salade</b>  | Kc salade                 | 0,50     | 0,75    | 0,92    | -      | -      |
|  | ETM mensuelle (mm)        | 81,43    | 135,02  | 164,90  | -      | -      |
|  | Besoins net mensuels (mm) | 81,38    | 134,93  | 164,83  | -      | -      |
| <b>Oignon</b>  | Kc oignon                 | 0,63     | 0,95    | 1,05    | 0,99   | 0,85   |
|  | ETM mensuelle (mm)        | 101,79   | 170,50  | 187,57  | 217,52 | 188,19 |
|  | Besoins net mensuels (mm) | 101,74   | 170,41  | 187,50  | 212,38 | 169,13 |
| <b>Aubergine</b>   | Kc Aubergine              | 0,46     | 0,75    | 1,04    | 1,08   | 0,80   |
|  | ETM mensuelle (mm)        | 74,39    | 134,15  | 185,02  | 238,88 | 118,08 |
|  | Besoins net mensuels (mm) | 74,33    | 134,06  | 184,95  | 233,74 | 105,38 |
| <b>Gombo</b>   | Kc gombo                  | 0,76     | 1,02    | 0,91    | 0,94   | 0,95   |
|  | ETM mensuelle (mm)        | 122,71   | 182,16  | 162,56  | 206,84 | 105,17 |
|  | Besoins net mensuels (mm) | 122,66   | 182,07  | 162,49  | 201,70 | 95,64  |
| <b>Arachide</b>  | Kc arrachide              | 0,50     | 0,77    | 1,05    | 0,87   | 0,70   |
|  | ETM mensuelle (mm)        | 80,91    | 137,61  | 187,57  | 191,88 | 51,66  |
|  | Besoins net mensuels (mm) | 80,86    | 137,53  | 187,50  | 186,75 | 45,31  |
| <b>Haricot vert</b>                                      | Kc haricot vert           | 0,47     | 0,85    | 1,03    | -      | -      |
|  | ETM mensuelle (mm)        | 76,73    | 152,91  | 183,74  | -      | -      |
|  | Besoins net mensuels (mm) | 76,68    | 152,82  | 183,68  | -      | -      |

*Tableau 52: Synthèse besoins agricoles*

| Désignation                              | Déc.   | Jan.   | Fév.   | Mars   | Avr.   | Total    |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| <b>BN mensuels (mm)</b>                  | 122,66 | 182,07 | 205,37 | 233,74 | 169,13 | 913,0    |
| <b>Efficiencie globale</b>               | 0,60   | 0,60   | 0,60   | 0,60   | 0,60   | 0,6      |
| <b>BB mensuels (mm)</b>                  | 204    | 303    | 342    | 390    | 282    | 1521,6   |
| <b>BB mensuels (m<sup>3</sup>/ha)</b>    | 2044   | 3034   | 3423   | 3896   | 2819   | 15216,2  |
| <b>BB (m<sup>3</sup>) pour les 20 ha</b> | 40 887 | 60 690 | 68 456 | 77 913 | 56 378 | 304323,4 |

 *Evaluation des besoins humains*

*Tableau 53: Besoins en eau humain*

|   |                |
|---|----------------|
| <b>Population en 2019</b>                           | <b>6 408</b>   |
| <b>Taux d'accroissement</b>                         | 3%             |
| <b>Population en à l'horizon du projet</b>          | 15 554         |
| <b>Prélèvement spécifique</b>                       | 20 L/ habitant |
| <b>Prélèvement journalier (L /jour)</b>             | 311 080        |
| <b>Prélèvement journalier (m<sup>3</sup> /jour)</b> | 312            |

### 3.2. Evaluation des pertes

 *Perte par infiltration et évaporation*

Les pertes par évaporation sont évaluées à partir des données évaporation journalières (évaporation bac Colorado) de la station synoptique de Ouagadougou aéroport. A partir de l'évaporation bac, nous avons calculé l'évaporation au niveau de la retenue en utilisant la formule de POUYAUD :

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

Pour l'évaluation des pertes par infiltration, nous admettons une moyenne de 2 mm/jr.

*Tableau 54: Evaluation des pertes (évaporation et infiltration)*

| Mois         | Nombre de jour du mois | Evaporation bac (mm) par mois | Evaporation bac (mm) par jour | Evaporation Lac (mm) par jour | Evaporation Lac (mm/mois) | Infiltration (mm) par jour | Infiltration (mm) par mois | Pertes mensuelle (mm) |
|--------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Janvier      | 31                     | 261                           | 8,42                          | 6,0                           | 186,0                     | 2                          | 62                         | 248                   |
| Février      | 28                     | 280                           | 10,00                         | 6,7                           | 186,3                     | 2                          | 56                         | 242                   |
| Mars         | 31                     | 340,3                         | 10,98                         | 7,0                           | 218,2                     | 2                          | 62                         | 280                   |
| Avril        | 30                     | 328,5                         | 10,95                         | 7,0                           | 210,9                     | 2                          | 60                         | 271                   |
| Mai          | 31                     | 315,4                         | 10,17                         | 6,7                           | 208,5                     | 2                          | 62                         | 270                   |
| Juin         | 30                     | 253,8                         | 8,46                          | 6,0                           | 180,5                     | 2                          | 60                         | 241                   |
| Juillet      | 31                     | 207,5                         | 6,69                          | 5,2                           | 162,0                     | 2                          | 62                         | 224                   |
| Août         | 31                     | 172,7                         | 5,57                          | 4,7                           | 145,1                     | 2                          | 62                         | 207                   |
| Septembre    | 30                     | 174,1                         | 5,80                          | 4,8                           | 143,9                     | 2                          | 60                         | 204                   |
| Octobre      | 31                     | 219,5                         | 7,08                          | 5,4                           | 167,6                     | 2                          | 62                         | 230                   |
| Novembre     | 30                     | 236,8                         | 7,89                          | 5,8                           | 173,2                     | 2                          | 60                         | 233                   |
| Décembre     | 31                     | 243,7                         | 7,86                          | 5,8                           | 178,5                     | 2                          | 62                         | 240                   |
| <b>Total</b> | <b>365</b>             | <b>3033,30</b>                | <b>-</b>                      | <b>-</b>                      | <b>2160,63</b>            | <b>-</b>                   | <b>730,00</b>              | <b>2 891</b>          |

*Tableau 55 : Evaporation bac a (mm) pour Ouagadougou aéroport*

| Mois                          | Jan    | Fév    | Mar   | Avr    | Mai    | Juin   | Juil   | Août   | Sep    | Oct    | Nov    | Déc    | TOTAL   |
|-------------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Evaporation moyenne mensuelle | 261.0* | 280.0* | 340,3 | 328.5* | 315.4* | 253.8* | 207.5* | 172.7* | 174.1* | 219.5* | 236.8* | 243.7* | 3037.4* |

Source : Agence Nationale de la Météo

 *Evaluation des pertes par dépôt solides*

Pour l'évaluation des dépôts solides à l'horizon du projet, les formules utilisées sont celles de GRISILLON, GOTTSCHALK et GRESILLON modifiée (formule de KARAMBIRI).

*Tableau 56: Estimation de la dégradation spécifique et des dépôts solides*

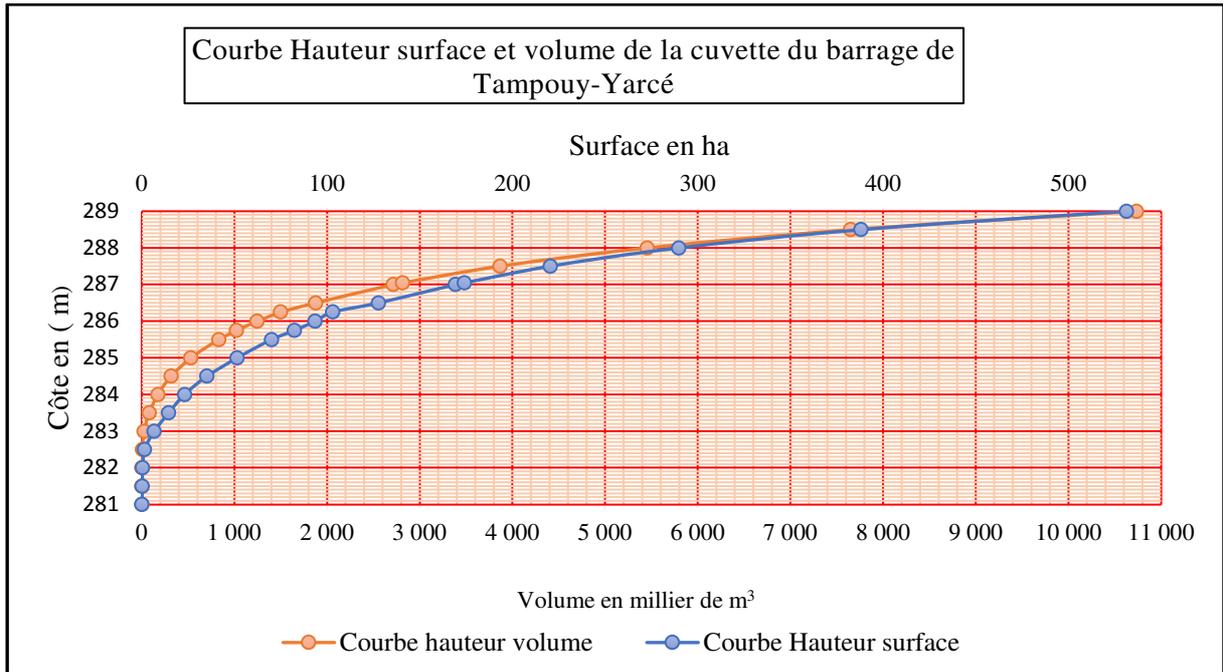
| Auteur   | Formule  | D<br>(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /an) | Dépôts<br>(m <sup>3</sup> /an) |
|--|--|--|--------------------------------|
| GRISILLON  | $D = 700 * \left(\frac{P}{500}\right)^{-2.2} * S^{-0.1}$                             | 202,99                                     | 11 010,19                      |
| GOTTSCHALK   | $D = 260 * S^{-0.1}$   | 174,40                                     | 9 459,33                       |
| KARAMBIRI  | $D = 137 ** \left(\frac{P}{700}\right)^{-2.2} * S^{-0.05} * [0,25 + 1,13 * (h + r)]$ | 120,87                                     | 6 556,11                       |
| Retenue  | La moyenne des deux première formules  | 188,69                                     | 10 234,76                      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>P</b> : Pluie moyenne annuelle (732 mm),</li> <li>✓ <b>S</b> : Superficie du bassin versant (54,24 km<sup>2</sup>),</li> <li>✓ <b>h</b> : paramètre anthropique (0,55) pour un bassin versant comportant des petites villes, des villages moyens ou situés à proximité de ceux-ci,</li> <li>✓ <b>r</b> : paramètre morphologique (0,25) pour un relief peu accidenté, accusé.</li> <li>✓ <b>D</b> : dégradation spécifique annuelle (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an)</li> </ul> |  |  |                                |

De façon générale, les dépôts sont plus importants en début de projet et diminuent progressivement avec le temps. Pour cela, nous considérerons un cumule de sédiment de 10 ans. Ce qui donne un volume total de 102 348 m<sup>3</sup> de sédiment qui se déposeront dans la retenue au droit du déversoir. Ce volume correspond à la tranche morte de notre ouvrage. En projetant ce volume sur la courbe hauteur volume donne 283,6 m correspondant à la cote de l'envasement en 10 ans de sédimentation. Ce volume étant très important par rapport à la capacité de notre barrage, nous recommandons un curage tous les 10 ans ainsi que la mise en œuvre d'autres actions de lutte contre l'ensablement de la cuvette.

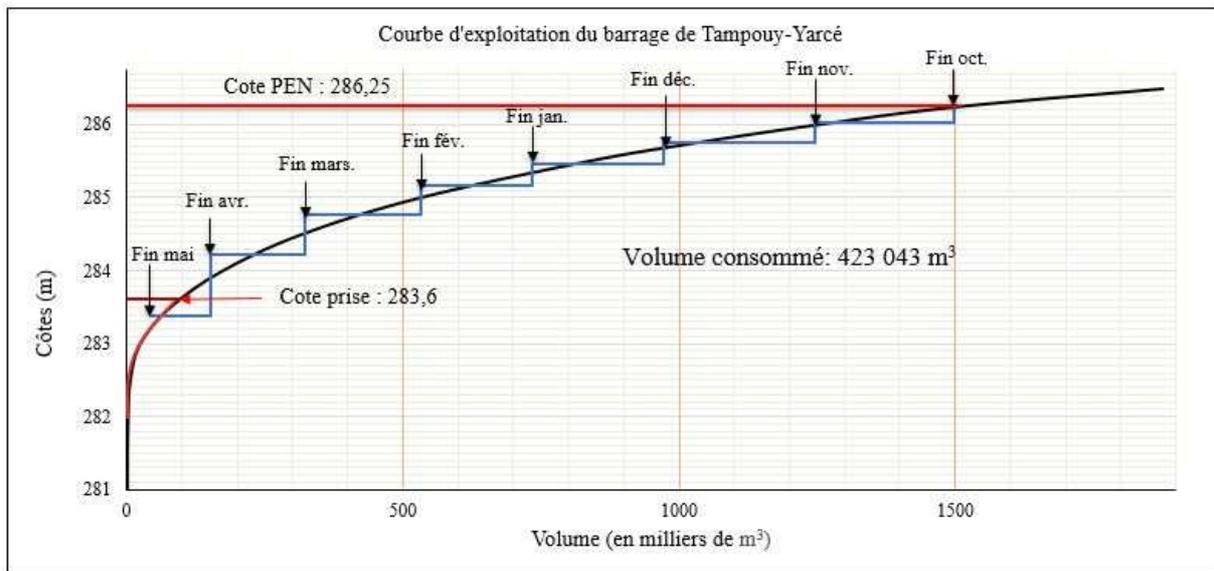
### 3.3. Courbes hauteur volume surface et exploitation de la retenue

 *Courbe hauteur surface et volume*

 *Courbe hauteur surface et volume*



*Courbe d'exploitation de la retenue*



*Tableau 57 : Données topographiques de la cuvette*

| Cote (m)      | Surface (m <sup>2</sup> ) | Surface (ha)  | Volume (m <sup>3</sup> ) | Volume en (Millier m <sup>3</sup> ) |
|---------------|---------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 281           | 132,94                    | 0,01          | 8,77                     | 0,01                                |
| 281,50        | 1 420,99                  | 0,14          | 342,22                   | 0,34                                |
| 282,00        | 3 923,59                  | 0,39          | 1 533,22                 | 1,53                                |
| 282,50        | 14 275,60                 | 1,43          | 5 511,74                 | 5,51                                |
| 283,00        | 66 636,22                 | 6,66          | 23 685,26                | 23,69                               |
| 283,50        | 144 266,16                | 14,43         | 78 345,56                | 78,35                               |
| 284,00        | 230 830,34                | 23,08         | 172 585,67               | 172,59                              |
| 284,50        | 350 946,56                | 35,09         | 315 858,07               | 315,86                              |
| 285,00        | 514 406,33                | 51,44         | 528 715,71               | 528,72                              |
| 285,50        | 699 689,07                | 69,97         | 831 913,72               | 831,91                              |
| 285,75        | 822 747,04                | 82,27         | 1 023 136,78             | 1 023,14                            |
| 286,00        | 934 458,69                | 93,45         | 1 244 470,95             | 1 244,47                            |
| <b>286,25</b> | <b>1 029 261,05</b>       | <b>102,93</b> | <b>1 499 043,30</b>      | <b>1 499,04</b>                     |
| 286,5         | 1 276 522,79              | 127,65        | 1 874 415,11             | 1 874,42                            |
| 287           | 1 692 335,35              | 169,23        | 2 712 653,86             | 2 712,65                            |
| <b>287,05</b> | <b>1 740 152,26</b>       | <b>174,02</b> | <b>2 812 406,25</b>      | <b>2 812,41</b>                     |
| 287,5         | 2 203 702,97              | 220,37        | 3 865 729,38             | 3 865,73                            |
| 288           | 2 897 139,55              | 289,71        | 5 453 875,34             | 5 453,88                            |
| 288,5         | 3 880 075,80              | 388,01        | 7 647 993,84             | 7 647,99                            |
| 289           | 5 312 272,50              | 531,23        | 10 735 005,97            | 10 735,01                           |

## ANNEXE 4 : LAMINAGE DES CRUES

### 4.1. Charge maximale admissible

Pour un déversoir en béton la charge maximale admissible conseillée est généralement comprise entre 0,7 et 1 m. Nous retenons une charge de 0,8 m dans le cadre de notre étude.

### 4.2. Laminage par l'équation de continuité (Abaques)

Avec la forme pointue de l'hydrogramme de crue, nous allons utiliser la méthode de l'équation de continuité : Abaque pour le calcul de l'effet de laminage. Ainsi en faisant varier la longueur de déversement et en considérant le déversoir en fonctionnement dénoyé puis nous calculons le débit laminé, la hauteur déversant ( $Z_e$ ) et les rapports :

|  |   |
|--|---|
| $\frac{A \cdot Z_e}{Q_c \cdot T_m} \text{ et } \frac{Z_e}{a} \text{ avec}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <math>T_m</math> [s] : le temps de montée</li> <li>✓ <math>A</math> [m<sup>2</sup>/s] : la surface du plan d'eau à la cote de déversement</li> <li>✓ <math>a</math> [m] : la hauteur au-dessus du seuil tel qu'à cette hauteur la surface du plan d'eau passe à <math>2 \cdot A</math>.</li> </ul> |
|--|---|

Nous procédons ainsi jusqu'à ce que  $Q_e$  soit le plus proche possible du débit du projet.

*Tableau 58: Laminage de crue par l'équation de continuité*

| L          | $Q_e$          | $Z_e$        | $Z_e/a$      | $(A*Z_e)/(Q_c*T_m)$ |
|------------|----------------|--------------|--------------|---------------------|
| <b>150</b> | 185,4130714    | 1,001239099  | 0,405285625  | 0,475480769         |
| <b>160</b> | 197,7739428    | 0,959073707  | 0,388217747  | 0,455456748         |
| <b>170</b> | 210,1348142    | 0,921084257  | 0,372840223  | 0,437415849         |
| <b>180</b> | 222,4956857    | 0,88664609   | 0,36         | 0,421061428         |
| <b>190</b> | 234,8565571    | 0,855256216  | 0,346194081  | 0,406154618         |
| <b>200</b> | 247,2174285    | 0,826504666  | 0,334555912  | 0,392500727         |
| <b>205</b> | 253,3978642    | 0,813010335  | 0,329093622  | 0,386092372         |
| <b>206</b> | 254,6339514    | 0,8103771    | 0,32802773   | 0,384841869         |
| <b>207</b> | 255,8700385    | 0,807765084  | 0,326970428  | 0,383601443         |
| <b>208</b> | 257,1061257    | 0,805174014  | 0,325921604  | 0,382370964         |
| <b>209</b> | 258,3422128    | 0,802603623  | 0,324881151  | 0,381150305         |
| <b>210</b> | <b>259,578</b> | <b>0,800</b> | <b>0,324</b> | <b>0,380</b>        |
| <b>211</b> | 260,8143871    | 0,797523832  | 0,32         | 0,378737951         |

Avec les valeurs des rapports  $\frac{A*Z_e}{Q_c*T_m}$  et  $\frac{Z_e}{a}$  ; correspondants nous lisons le rapport  $Q_e/Q_c$  puis nous déduisons la valeur de  $Q_e$  et la longueur correspondante (tableau ci-dessous).

*Tableau 59: Résultats laminage par l'équation de continuité*

| Paramètres        | Valeurs    | $Z_e/a$ | $(A*Z_e)/(Q_c*T_m)$ | $Q_e/Q_c$ lu | $Q_e$<br>( $m^3/s$ ) |
|-------------------|------------|---------|---------------------|--------------|----------------------|
| $T_m$ (s)         | 8348,69    | 0,32    | 0,38                | 0,78         | 202,47               |
| A ( $m^2$ )       | 1029261,05 |         |                     |              |                      |
| a (m)             | 2,47       |         |                     |              |                      |
| m                 | 0,39       |         |                     |              |                      |
| g ( $m/s^2$ )     | 9,81       |         |                     |              |                      |
| $Z_e = h$ (m)     | 0,80       |         |                     |              |                      |
| $Q_c$ ( $m^3/s$ ) | 259,58     |         |                     |              |                      |

Le débit de pointe de la crue laminée (**202,47  $m^3/s$** ) est  $Q_e = m * L * \sqrt{2g} * h^{3/2}$  et on déduit la longueur (L) du déversoir qui vaut **163,8 m**.

#### 4.3. Laminage par la méthode EIER-CIEH ou méthode du $x0$

C'est une méthode itérative pour la détermination de la longueur d'un déversoir en fonctionnement dénoyé. On procède comme suit :

$$Q = m * L * \sqrt{2g} * h^{3/2} \Rightarrow L = \frac{Q}{m * \sqrt{2g} * h^{3/2}}$$

$$L = \frac{259,6}{0,39 * \sqrt{2 * 9,81} * 0,8^2} = 210,02 \text{ m} \quad (\text{Avant la prise en compte du laminage}).$$

En tenant compte de l'effet de laminage on réduit la longueur déversant sans augmenter le risque de submersion du barrage. Nous utilisons pour le laminage : la méthode du coefficient « x<sub>0</sub> » ou méthode EIER-CIEH.

$$X_{01} = \frac{m^2 * g * L_1^2 * Q_{c \max} * t_m^3}{S^3} \quad \text{avec } Q_{c \max} = Q_{100} = 259,60 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L_1 = 210,02 \text{ m} \Rightarrow X_{01} = \frac{0,39^2 * 9,81 * 210,02^2 * 259,6 * 8348,7^3}{1029261^3} = 9,118$$

$$\log_{10}(9,118) = 0,960 \Rightarrow \beta_1 = 77,2\% \quad (\text{coefficient de laminage déterminé à partir de l'abaque}).$$

$$Q_{e \max 1} = \beta_1 * Q_{c \max} \Rightarrow Q_{e \max 1} = 0,772 * 259,60 = 200,41 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Après itérations jusqu'à une convergence de la valeur du coefficient  $\beta$ , nous retenons la longueur correspondante. Les résultats d'itération sont récapitulés dans le Tableau 60.

**Tableau 60: Laminage par la méthode du coefficient « x<sub>0</sub> ».**

| <b>Li</b>     | <b>Xo</b>    | <b>Log10(Xo)</b> | <b>β</b>     | <b>Qe (m<sup>3</sup>/s)</b> |
|---------------|--------------|------------------|--------------|-----------------------------|
|               |              |                  | 1            | 259,604                     |
| 210,02        | 9,118        | 0,960            | 0,772        | 200,413                     |
| 162,14        | 5,434        | 0,735            | 0,738        | 191,688                     |
| 155,08        | 4,971        | 0,696            | 0,731        | 189,868                     |
| 153,60        | 4,877        | 0,688            | 0,730        | 189,466                     |
| 153,28        | 4,857        | 0,686            | 0,729        | 189,376                     |
| <b>153,21</b> | <b>4,852</b> | <b>0,686</b>     | <b>0,729</b> | <b>189,356</b>              |
| 153,19        | 4,851        | 0,686            | 0,729        | 189,352                     |

Avec la méthode du coefficient « x<sub>0</sub> », on obtient une longueur déversante **L = 153,21 m** avec un débit laminé de 189,36 m<sup>3</sup>/s environ contre 163,8 m avec 202,47 m<sup>3</sup>/s pour le laminage par l'équation de continuité soit une moyenne de 158,5 m pour le déversoir avec un débit laminé de 195,92 m<sup>3</sup>/s. Pour des raisons de mise en œuvre nous optons comme longueur du déversoir **L= 160 m** et le débit laminé correspondant vaut **Q<sub>e</sub>=197,77m<sup>3</sup>/s**.

## ANNEXE 5 : ETUDE DU DEVERSOIR

### 5.1. Conception des éléments principaux du déversoir

|   |   |
|---|---|
| Déversoir central                               | Forme trapézoïdale réalisé en béton cyclopéen dosé à 250 kg/m <sup>3</sup>  |
| Longueur du déversoir                           | L= 160,00 m, composée de 32 plots de 5 m. Les plots extrêmes étant solidaires aux murs bajoyers. Joint WATERSTOP entre les plots. |
| Lame d'eau déversant h                          | 0,80 m  |
| Fondation                                       | Argile (Roche homogène et isotrope sans fissuration)  |
| Hauteur du déversoir (H <sub>d</sub> )          | 5,25 m  |
| Largeur en crête du déversoir (l <sub>d</sub> ) | 1,00 m  |

### 5.2. Dimensionnement du déversoir

|  |  |
|--|--|
| γ <sub>séd.</sub>  | 20 KN/m <sup>3</sup>                   |
| Hauteur des sédiments (h <sub>séd.</sub> )                           | 1,50 m                                 |
| γ <sub>b</sub>   | 24 KN/m <sup>3</sup>                   |
| Résistance à la compression du béton en 28 jours (f <sub>c28</sub> ) | 20 MPa                                 |
| Nature des sédiments   | Sable                                  |
| Déversoir central  | Forme trapézoïdale réalisé en béton    |
| Longueur du déversoir  | L= 160,00 m, composée de 32 plots de 5 |
| Joint WATERSTOP entre les plots.                                     |  |
| Lame d'eau déversant h   | 0,80 m                                 |
| Fondation  | Argile (Roche homogène et isotrope)    |
| Hauteur du déversoir (H <sub>d</sub> )                               | 5,25 m                                 |
| Largeur en crête du déversoir (l <sub>d</sub> )                      | 1,00 m                                 |
| Ka   | 1/3                                    |
| Tan(φ)   | 0,65                                   |

### 5.3. Etude de la stabilité externe

Nous allons déterminer la valeur de l'angle α qui permet d'assurer les stabilités au glissement et au renversement

 Détermination de α qui vérifie la stabilité au glissement

La stabilité au glissement est assurée si et seulement si :

$$\sum F_{poussées} \leq \sum F_{résistantes \text{ aux } poussées} \text{ Soit } F_G = \frac{(W-U) \cdot \tan(\phi)}{P_e + P_t} \geq 1,2$$

**- La poussée hydrostatique externe en amont du déversoir (P<sub>e</sub>)**

$$P_e = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times H_r^2 + \gamma_w \times H_r \times h$$

$$P_e = \frac{1}{2} \times 10 \times H_r^2 + 10 \times H_r \times 0,80$$

$$P_e = 5H_r^2 + 8H_r$$

**- La poussée des terres P<sub>t</sub>**

$$P_t = \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{séd.}} \times h_{\text{séd.}}^2 \times K_a \text{ avec } K_a = 1/3$$

$$P_t = \frac{1}{2} \times 20 \times 1,5^2 \times \frac{1}{3}$$

$$P_t = 7,5 \text{ kN/m}$$

**- Les sous pressions (U)**

$$U = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times b_2 \times (2 \times h + H_r) \text{ Avec } b_2 = 1 + H_r \times \tan(\alpha)$$

$$U = 5 \times H_r^2 \times \tan(\alpha) + 8 \times H_r \times \tan(\alpha) + 5 \times H_r + 8$$

**- Le poids propre du déversoir (W)**

$$W = \gamma_b \times S \times 1 \text{ avec } S = H_r + \frac{1}{2} \times H_r^2 \times \tan(\alpha)$$

$$W = 24 \times (H_r + \frac{1}{2} \times H_r^2 \times \tan(\alpha))$$

$$W = 24 \times H_r + 12 \times H_r^2 \times \tan(\alpha)$$

**Calcul de W-U**

$$W - U = 24H_r + 12H_r^2 \tan(\alpha) - 5H_r^2 \tan(\alpha) - 8H_r \tan(\alpha) - 5H_r - 8$$

$$W - U = 19 \times H_r + (7 \times H_r^2 - 8 \times H_r) \tan(\alpha) - 8$$

**Calcul de P<sub>e</sub> + P<sub>t</sub>**

$$P_e + P_t = 5H_r^2 + 8H_r + 7,5$$

Ainsi :

$$F_G = \frac{(W-U) \times \tan(\phi)}{P_e + P_t} \geq 1,2 \text{ Implique } \frac{(19 \times H_r + (7 \times H_r^2 - 8 \times H_r) \tan(\alpha) - 8) \times \tan(\phi)}{5 \times H_r^2 + 8 \times H_r + 7,5} \geq 1,2$$

Ce qui donne après réduction :

$$\alpha_g \geq \tan^{-1} \left( \frac{6H_r^2 - 2,75H_r + 14,2}{4,55H_r^2 - 5,2H_r} \right)$$

Avec  $H_r = H_d = 5,25 \text{ m}$ , on aboutit à  $\alpha_g \geq 59,29^\circ$

 Détermination de  $\alpha$  qui vérifie la stabilité au renversement

La stabilité au renversement est assurée si et seulement si :  $F_R = \frac{\sum M_B(W-U)}{\sum M_B(P_e + P_t)} \geq 1,5$

**Moment de W par rapport au point B en fonction de la hauteur utile de la retenue**

$M_B(W) = W * (b_2 - x_{Gou})$  avec  $b_2 = 1 + H_r \tan(\alpha)$  ;  $W = 12H_r^2 \tan(\alpha) + 24H_r$  et

$$x_{Gou} = \frac{\sum x_{Gi} * S_i}{\sum S_i} = \frac{0,5 + \frac{H_r^2}{6} \tan^2(\alpha) + 0,5H_r \tan(\alpha)}{1 + 0,5H_r \tan(\alpha)}$$

$$M_B(W) = 8H_r^3 \tan^2(\alpha) + 24H_r^2 \tan(\alpha) + 12H_r$$

**- Moment de P<sub>e</sub> par rapport au point B en fonction de la hauteur utile de la retenue**

$M_B(P_e) = P_{e1} \times \frac{1}{3} \times H_r + P_{e2} \times \frac{1}{2} H_r$  avec  $P_{e1} = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times H_r^2$  et  $P_{e2} = \gamma_w \times H_r \times h$

$$M_B(P_e) = \frac{5}{3} \times H_r^3 + 4 \times H_r^2$$

**- Moment de P<sub>t</sub> par rapport au point B en fonction de la hauteur utile de la retenue**

$M_B(P_t) = P_t \times \frac{1}{3} \times d$  avec  $d = \frac{1}{3} * h_{séd.}$

$$M_B(P_t) = 3,75 \text{ kN/m}$$

**- Moment de U par rapport au point B en fonction de la hauteur utile de la retenue**

$M_B(U) = U_1 d_1 + U_2 d_2$  ;  $U_1 = \gamma_w (H_r + h) * b_2$  ;  $d_1 = \frac{b_2}{2}$  ;  $U_2 = \frac{1}{2} \gamma_w H_r b_2$  ;  $d_2 = \frac{b_2}{3}$

$$M_B(U) = \frac{1}{2} * \gamma_w (H_r + h) * (1 + H_r \tan(\alpha))^2 + \frac{1}{6} * \gamma_w H_r * (1 + H_r \tan(\alpha))^2$$

$$M_B(U) = \left( \frac{10}{3} * H_r^3 + 4 * H_r^2 \right) * \tan^2(\alpha) + \left( \frac{20}{3} * H_r^2 + 8 * H_r \right) * \tan(\alpha) + \frac{10}{3} * H_r + 4$$

**- Calcul de M<sub>B</sub>(W - U)**

$$M_B(W - U) = \left( \frac{14}{3} H_r^3 - 4H_r^2 \right) \tan^2(\alpha) + \left( \frac{52}{3} H_r^2 - 8H_r \right) \tan(\alpha) + \frac{26}{3} H_r - 4$$

**- Calcul de M<sub>B</sub>(P<sub>e</sub> + P<sub>t</sub>)**

$$M_B(P_e + P_t) = \frac{5}{3} * H_r^3 + 4 * H_r^2 + 3,75$$

$\frac{\sum M_B(W-U)}{\sum M_B(P_e+P_t)} \geq 1,5$  Implique que :

$$\left( \frac{14}{3} H_r^3 - 4H_r^2 \right) \tan^2(\alpha) + \left( \frac{52}{3} H_r^2 - 8H_r \right) \tan(\alpha) + \frac{26}{3} H_r - \frac{5}{2} H_r^3 - 6H_r^2 - 9,625 \geq 0$$

Si on pose  $X = \tan(\alpha)$ , on obtient à une inéquation de la forme :  $K_1 * X^2 + K_2 * X + K_3 \geq 0$ . La résolution de cette inéquation avec  $H_r = 5,25 \text{ m}$  donne :

| $K_1$  | $K_2$  | $K_3$   | $X_1$    | $X_2$     | $\alpha_R$ (°) |
|--------|--------|---------|----------|-----------|----------------|
| 565,03 | 435,75 | -491,26 | 0,623424 | -1,394622 | $\geq 31,94$   |

**Conclusion partielle**

Pour la stabilité externe (non glissement et non renversement), nous allons prendre une valeur de  $\alpha = \text{Max}\{\alpha_G; \alpha_R\} = 59,29^\circ \in [45; 60^\circ]$ . Comme cette valeur est comprise entre 45 et 60°, nous retenons pour la suite du dimensionnement  $\alpha = 60^\circ$  car avec cet angle nous avons

$$F_G = 1,23 > 1,2 \text{ et } F_R = 7,01 > 1,5.$$

#### 5.4. Etude de la stabilité interne

Il s'agit de vérifier si la non fissuration et la non rupture du déversoir sont assurées avec l'angle  $\alpha = 60^\circ$  retenu plus haut.

##### Vérification de la non fissuration

La non fissuration est vérifiée si :

$$\sigma_{\min} \geq 0 \text{ Ce qui implique que } |e| \leq \frac{b_2}{6} \text{ avec } e = x_{\text{Gou}} + y_{\text{Gou}} \times \frac{P_e + P_t}{W - U} - \frac{b_2}{2}$$

$$b_2 = 1 + H_r \times \tan(\alpha) = 1 + 5,25 \tan(60) = \mathbf{10,10 \text{ m}}$$

$$x_{\text{Gou}} = \frac{0,5 + \frac{H_r^2}{6} \tan^2(\alpha) + 0,5 H_r \tan(\alpha)}{1 + 0,5 H_r \tan(\alpha)}$$

$$x_{\text{Gou}} = \frac{0,5 + \frac{5,25^2}{6} * \tan^2(60) + 0,5 * 5,25 * \tan(60)}{1 + 0,5 * 5,25 * \tan(60)}$$

$$x_{\text{Gou}} = \mathbf{3,39 \text{ m}}$$

$$y_{\text{Gou}} = \frac{H_r + \frac{1}{3} H_r^2 \tan(\alpha)}{2 + H_r * \tan(\alpha)} = \frac{5,25 + \frac{1}{3} * 5,25^2 * \tan(60)}{2 + 5,25 * \tan(60)}$$

$$y_{\text{Gou}} = \mathbf{1,91 \text{ m}}$$

$$W - U = 19 \times H_r + (7 \times H_r^2 - 8 \times H_r) \tan(\alpha) - 8$$

$$W - U = \mathbf{353,18 \text{ KN/ml}}$$

$$P_e + P_t = 5H_r^2 + 8H_r + 7,5$$

$$P_e + P_t = \mathbf{187,31 \text{ kN/ml}}$$

$$e = 3,39 + 1,91 \times \frac{187,31}{353,18} - \frac{10,10}{2}$$

$$e = \mathbf{-0,65 \text{ m or } \frac{b_2}{6} = 1,68 \text{ m}}$$

**On remarque que :  $|e| < \frac{b_2}{6} = 1,68 \text{ m}$ . Donc la non fissuration est vérifiée.**

##### Vérification de la non rupture

La non rupture est vérifiée si :

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{lim,béton}} \text{ avec } \sigma_{\max} = \left(\frac{W-U}{b_2}\right) \times \left(1 + \frac{6*|e|}{b_2}\right) = \left(\frac{353,18}{10,10}\right) \times \left(1 + \frac{6*0,65}{10,10}\right) = 0,048 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{lim,béton}} = 0,3f_{c28} = 0,3 \times 20 = 6 \text{ MPa}$$

Ainsi  $\sigma_{max} \leq \sigma_{lim,béton}$ , on conclue que la non rupture est assurée.

### Conclusion totale sur les études de stabilités du déversoir

En considérant un angle  $\alpha$  qui vaut  $60^\circ$  les stabilités externes (glissement et renversement) et interne (fissuration et rupture) sont vérifiées.

#### 5.5. Le poids du mètre linéaire de déversoir

$$W = 24H_r + 12H_r^2 \tan(\alpha)$$

$$W = 24 \times 6 + 12 \times 6^2 \tan(60) = 698,88 \text{ kN/m}$$

$$W = 698,88 \text{ kN/ml}$$

Avec l'angle de  $60^\circ$ , les conditions de stabilité interne (fissuration et rupture) sont également assurées.

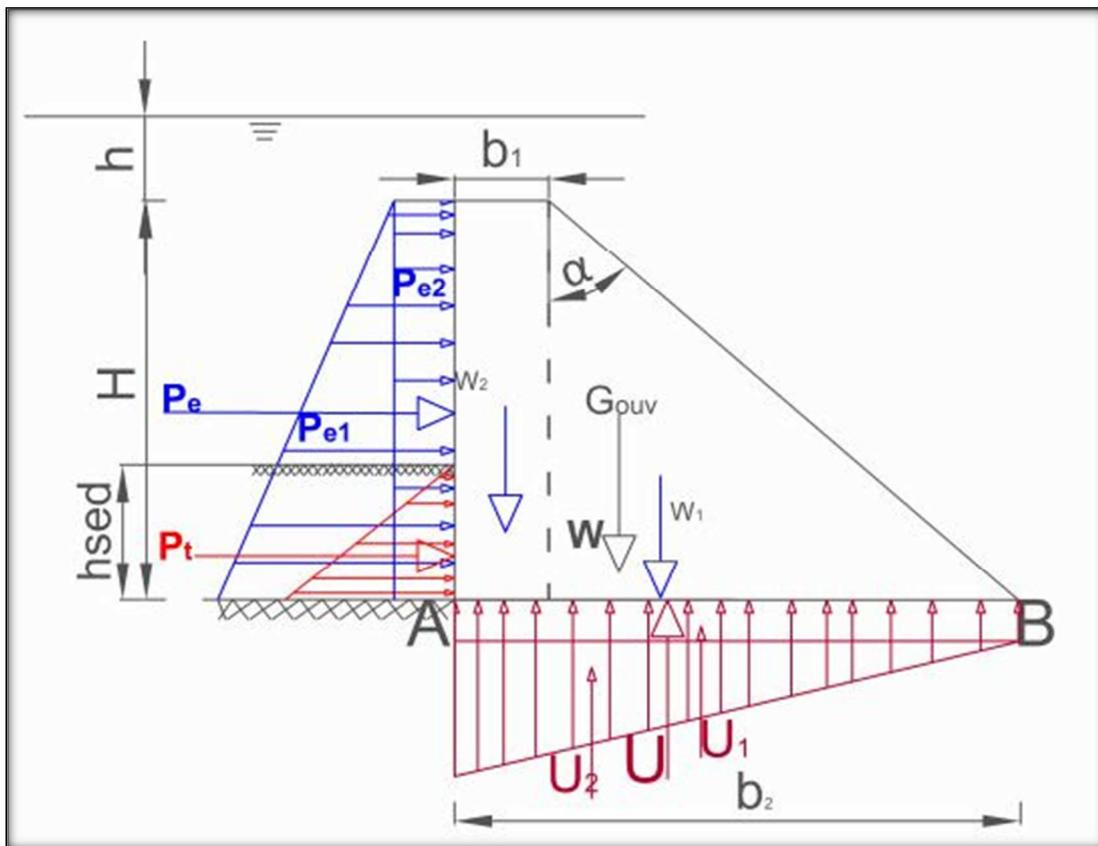


Figure 20: Forces agissantes sur le déversoir

## ANNEXE 6 : DIMENSIONNEMENT DU BASSIN DE DISSIPATION

### 6.1. Calcul des tirants d'eau à l'aval du déversoir

Données :

- La Hauteur du déversoir :  $H_0 = 5,25 \text{ m}$  ;
- Le Débit maximale laminée :  $Q_{e\max} = 197,77 \text{ m}^3/\text{s}$  ;
- Le Coefficient de rugosité :  $K_s = 75 \text{ m}^{1/3}$  ;
- La pesanteur  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  ;
- La longueur du déversoir = largeur du chenal  $L = 160 \text{ m}$  ;
- $m$  : Fruit de berges égal à 1 ;
- Hypothèses :
  - Le Bassin de dissipation sera de forme rectangulaire
  - La Pente longitudinale du bassin de dissipation vaut :  $i = 0,2\%$

#### Calcul d'eau normal $y_n$

Le calcul de  $y_n$  se fera par la méthode de la débitance résolut avec le solveur de Excel.

$$\frac{Q_{e\max}}{\sqrt{I}} = K_s \cdot \sqrt[3]{\frac{S^5}{P^2}}$$

$$S = L * y_n \text{ et } P = L + 2y_n$$

La résolution avec le solveur de Excel, on obtient  $y_n=0,55\text{m}$  et nous retenons  $y_n = 0,6\text{m}$

Le tirant d'eau critique est calcul avec la formule suivante :

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \left( \frac{Q_e}{L} \right)^2}$$

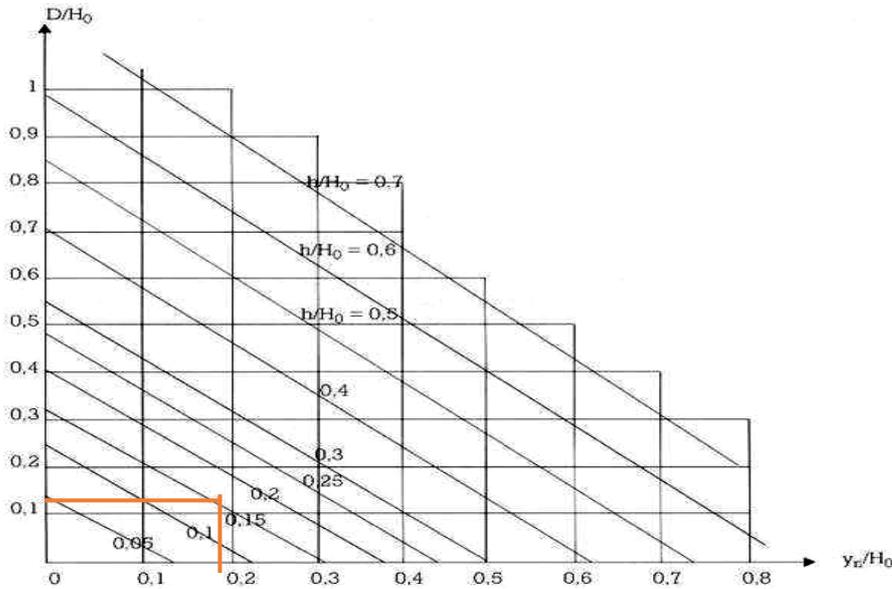
On obtient  $y_c = 0,53 \text{ m}$

**Conclusion :**  $y_n$  est supérieur à  $y_c$ . On a donc un écoulement fluvial.

### 6.2. Calcul de l'enfoncement D du bassin de dissipation

$$\left. \begin{array}{l} \frac{y_n}{H_0} = \frac{0,6}{5,25} = 0,11 \\ \frac{h}{H_0} = \frac{0,8}{5,25} = 0,15 \end{array} \right\} \text{ Les conditions } 0,05 \leq \frac{h}{H_0} \leq 0,7 \text{ et } 0,1 \leq \frac{y_n}{H_0} \leq 0,8 \text{ étant remplies nous}$$

pouvons lire le ratio  $\frac{D}{H_0} = 0,19$



On déduit  $D = 0.19 \cdot H_0 = 0,997 \text{ m}$

Pour la suite, nous retenons un enfoncement  **$D = 1,0 \text{ m}$** .

### 6.3. Type de bassin de dissipation et sa longueur

*Calcul de la vitesse  $V_0$  du fluide*

$$V_0 = \frac{Q}{L \times h} = \frac{197,77}{160 \times 0,8} = 1,55 \text{ m/s}$$

**$V_0 = 1,55 \text{ m/s}$**

*Calcul de la hauteur  $H$  de chute*

$$H = D + H_0 \text{ avec } H_0 = H_d = 5,25 \rightarrow H = 1 + 5,25$$

**$H = 6,25 \text{ m}$**

*Détermination de  $V$  et  $y_1$  à l'entrée du bassin de dissipation*

La vitesse  $V$  est fonction du tirant d'eau  $y_1$ . Les deux seront déterminés par itérations sur le solveur Excel des deux égalités ci-dessous.

$$V = \sqrt{2g \times \left(0,9 \left(H + h + \frac{V_0^2}{2g}\right) - y_1\right)} \text{ et } V = \frac{q}{y_1}$$

On aboutit à :

**$y_1 = 0,11 \text{ m}$  et  $V = 11,24 \text{ m/s}$**

*Détermination du nombre de Froude ( $Fr$ )*

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{2gy_1}} = \frac{11,24}{\sqrt{9,81 \times 0,11}}$$

**$F_r = 10,82 > 4,5$**

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

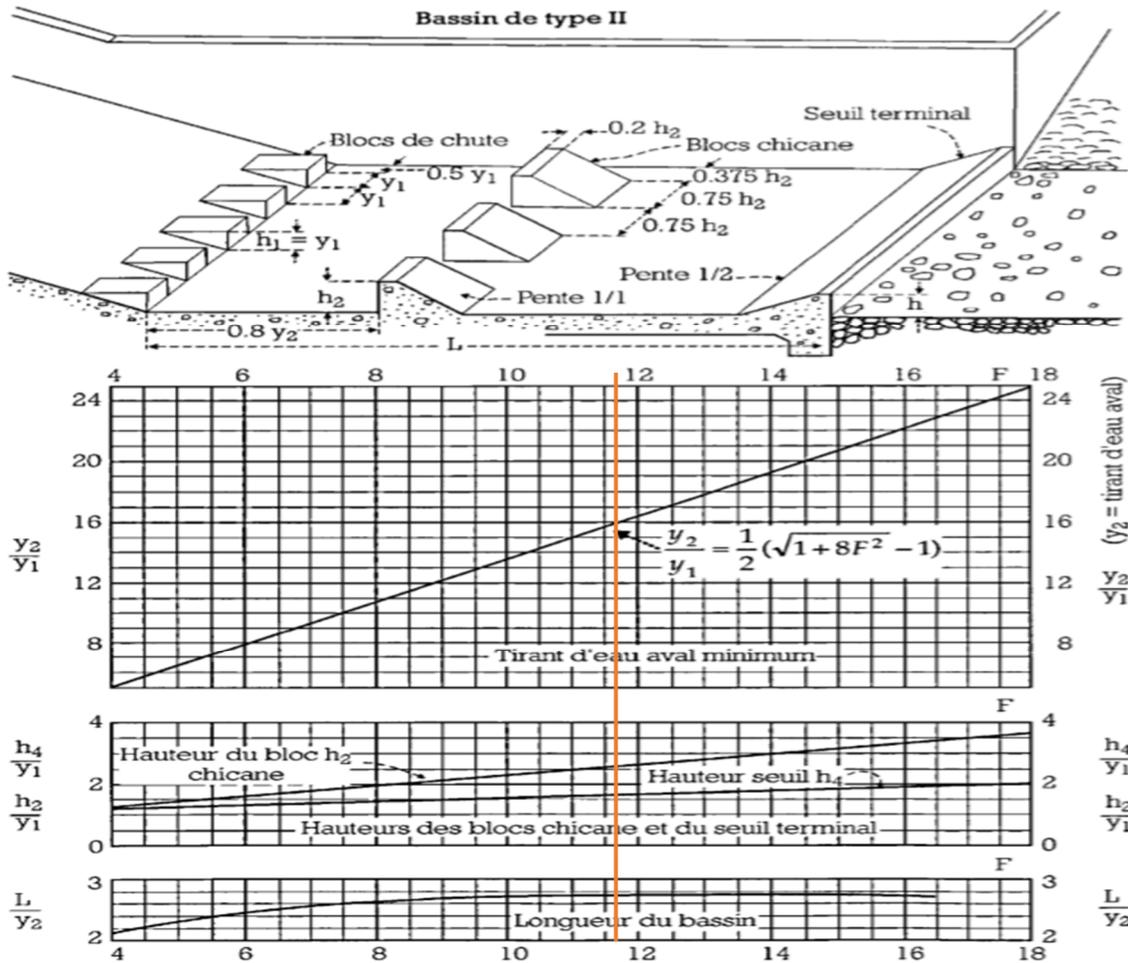


Figure 21: Abaque de lecture des ratios

**Détermination du tirant d'eau y2 après le réseau**

Il sera déterminé à partir du calcul du ratio :  $y_2/y_1$

$$\frac{y_2}{y_1} = 0,5 \left( \sqrt{1 + 8F_r^2} - 1 \right) = 14,81 \text{ soit } y_2 = 1,6 \text{ m}$$

**Détermination de la longueur  $L_b$  du bassin de dissipation**

$L_b$  sera déterminée par la lecture sur un abaque du ratio  $L_b/y_2$  en fonction du nombre de Froude.

On trouve  $L_b/y_2 = 2,75 \rightarrow L_b = 4,4 \text{ m}$

**Pour la suite on retient  $L_b = 4,50 \text{ m}$ .**

**Tableau 61: Résultat de dimensionnement du bassin de dissipation**

| Type de bassin de dissipation | Longueur du bassin de dissipation |                |                                |                |                        |
|-------------------------------|-----------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|------------------------|
| Type II                       | Fr                                | y <sub>2</sub> | L <sub>b</sub> /y <sub>2</sub> | L <sub>b</sub> | L <sub>b</sub> retenue |
|                               | 10,82                             | 1,6            | 2,75                           | 4,4            | 4,50                   |

**Dimensionnement des blocs chicanes**

- Hauteur :  $h_2 = 0,25 \cdot y_1$
- Largeur :  $l_2 = 0,75 \times h_2$ ,
- Espacement  $e_2 = 0,75 \times h_2$ ,
- Épaisseur en crête :  $b_2 = 0,20 \times h_2$

**Tableau 62: Dimensions des chicanes**

| Les blocs chicanes |                |                                |       |                               |             |                |                        |
|--------------------|----------------|--------------------------------|-------|-------------------------------|-------------|----------------|------------------------|
| Fr                 | y <sub>1</sub> | h <sub>2</sub> /y <sub>1</sub> | Pente | La hauteur h <sub>2</sub> (m) | Largeur (m) | Espacement (m) | Épaisseur de crête (m) |
| 10,82              | 0,11           | 2,5                            | 1/1   | 0,30                          | 0,25        | 0,25           | 0,06                   |

**Dimensionnement des blocs de chute**

**Tableau 63: Dimensions des blocs de chutes**

| Les blocs de chute (abaque) |                  |   |                               |
|-----------------------------|------------------|---|-------------------------------|
| Fr                          | La hauteur h (m) | La largeur à la base b <sub>1</sub> (m) | Espacement e <sub>1</sub> (m) |
| 10,82                       | 0,15             | 0,15                                    | 0,15                          |

**Distance blocs de chute et blocs chicanes**

$D = 0,8 \cdot Y_2 = 0,8 \cdot 1,6 = 1,28$  ; nous prendrons **D = 1,3 m**.

**Seuil terminal**

**Tableau 64: Dimensions du seuil terminal**

| Seuil terminal du bassin |                    |                                |       |                            |
|--------------------------|--------------------|--------------------------------|-------|----------------------------|
| Fr                       | y <sub>1</sub> (m) | h <sub>4</sub> /y <sub>1</sub> | Pente | Hauteur h <sub>4</sub> (m) |
| 10,82                    | 0,11               | 1,52                           | 2H/1V | 0,20                       |

**6.4. Détermination de la revanche du bassin de dissipation**

$$R_{bassin} = 0,1 \times (y_2 + V) = R_{bassin} = 0,1 * (1,6 + 11,24) = 1,28$$

Nous retenons une revanche de **1,3 m** pour le bassin de dissipation.

**6.5. Protection aval du bassin**

Le bassin ne dissipe que 75% de l'énergie de l'eau, il faut donc protéger l'aval avec des enrochements et/ou gabions sur une certaine distance.

*Tableau 65 : Paramètres de protection aval du bassin de dissipation*

|  |                            |  |          |
|--|----------------------------|--|----------|
| <b>Vitesse du début d'entraînement</b>               | <b>V<sub>e</sub> (m/s)</b> | <b>0,8 ≤ V<sub>e</sub> ≤ 1,2</b>       | <b>1</b> |
| <b>Diamètre minimum des enrochements nécessaires</b> | D (m)                      | Fonction de V <sub>e</sub> par abaque  | 0,1      |
| <b>Épaisseur de la couche d'enrochement</b>          | E                          | E ≥ 3*D                                | 0,3      |
| <b>Longueur à protéger</b>                           | L <sub>protection</sub>    | L <sub>p</sub> ≥ 2*L <sub>bassin</sub> | 9        |

## ANNEXE 7 : CHENAL D'EVACUATION

La formule de Manning strickler a été utilisée pour déterminer le tirant d'eau dans le chenal

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

Le solveur numérique avec Excel donne la valeur de la hauteur d'eau normale

*Tableau 66 : Paramètres et résultats de calcul du tirant d'eau dans le chenal*

| Paramètres                        | Unité                 | Valeur |
|-----------------------------------|-----------------------|--------|
| <b>Débit maximal</b>              | Q (m <sup>3</sup> /s) | 197,77 |
| <b>Largeur en plafond</b>         | b (m)                 | 160,00 |
| <b>Coefficient de rugosité</b>    | Ks                    | 70     |
| <b>Pente</b>                      | I(%)                  | 0,2    |
| <b>Fruit de berge (m)</b>         | m                     | 1      |
| <b>Profondeur</b>                 | (m)                   | 0,6    |
| <b>Longueur minimum du chenal</b> | L (m)                 | 13,5   |

## ANNEXE 8 : CALCUL DU MUR BAJOYER

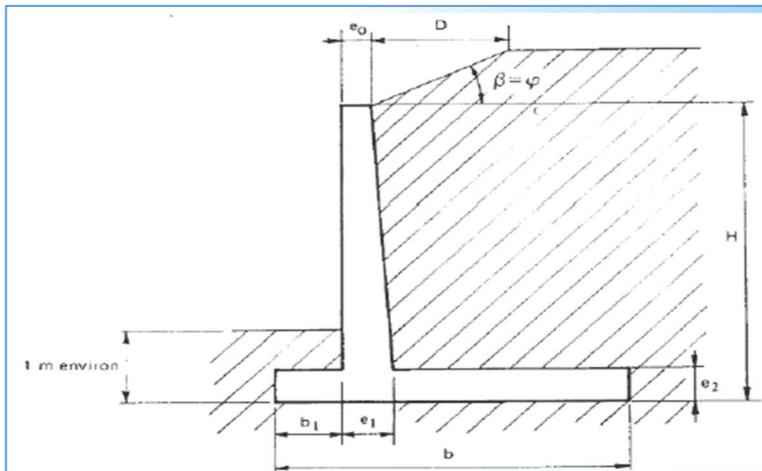
### 8.1. Conception des murs bajoyers

*Tableau 67 : Eléments de conception des murs bajoyers*

| Désignations   | Valeurs |
|--|---------|
| <b>Poids volumique du béton γ<sub>b</sub> (KN/m<sup>3</sup>)</b>               | 25      |
| <b>Poids volumique de l'argile plastique γ<sub>ar</sub> (KN/m<sup>3</sup>)</b> | 18      |
| <b>Cohésion de l'argile plastique (argile molle)</b>                           | 10      |
| <b>Angle de frottement interne</b>   | 17°     |
| <b>Coefficient de poussée active k<sub>a</sub></b>                             | 0.33    |
| <b>Contrainte admissible du sol q<sub>adm</sub> (bar)</b>                      | 2.0     |

## 8.2. Prédimensionnement du mur

La hauteur de la digue vaut 7 m. en intégrant la revanche libre R (0,4 m) et l'ancrage à cette hauteur, on prendra une hauteur du mur de 8,4 m.



Graphique 1: Illustration du mur de soutènement

Tableau 68: Pré dimensionnement du mur

| Désignation                              | Expression   | Résultats | Valeurs retenues |
|--|--------------|-----------|------------------|
| Hauteur du remblai argileux H'           | -            | -         | 7,00             |
| Hauteur du mur bajoyer H (m)             | $H_b+R+D$    | 8,40      | 8,40             |
| Epaisseur de la crête du voile $e_0$ (m) | $H/24$       | 0,35      | 0,35             |
| Epaisseur de la base du voile $e_1$ (m)  | $H/24$       | 0,70      | 0,35             |
| Epaisseur de la semelle $e_2$ (m)        | $H/12$       | 0,70      | 0,70             |
| Largeur de la semelle b (m)              | $0,2+0,45*H$ | 3,98      | 4,00             |
| Largeur du patin de la semelle $b_1$     | -            | -         | 0,00             |
| Largeur du talon de la semelle $b_2$     | $b-b_1-e_1$  | 3,30      | 3,3              |

## 8.3. Vérification de la stabilité du mur bajoyer

La vérification de la stabilité du mur sont faits avec le logiciel CYPE 2014 et les dimensions ajustées sont consignées dans le tableau

Tableau 69 : Dimensionnement final du mur bajoyer

| Désignation                              | Valeurs |
|--|---------|
| Hauteur du remblai argileux H' (m)       | 7,00    |
| Hauteur du mur bajoyer H (m)             | 8,4     |
| Epaisseur de la crête du voile $e_0$ (m) | 0,35    |
| Epaisseur de la base du voile $e_1$ (m)  | 0,70    |
| Epaisseur de la semelle $e_2$ (m)        | 1,00    |
| Largeur de la semelle b (m)              | 4,50    |
| Largeur du patin de la semelle $b_1$ (m) | 0,00    |

|  |      |
|--|------|
| <b>Largeur du talon de la semelle <math>b_2</math> (m)</b> | 3,80 |
|--|------|

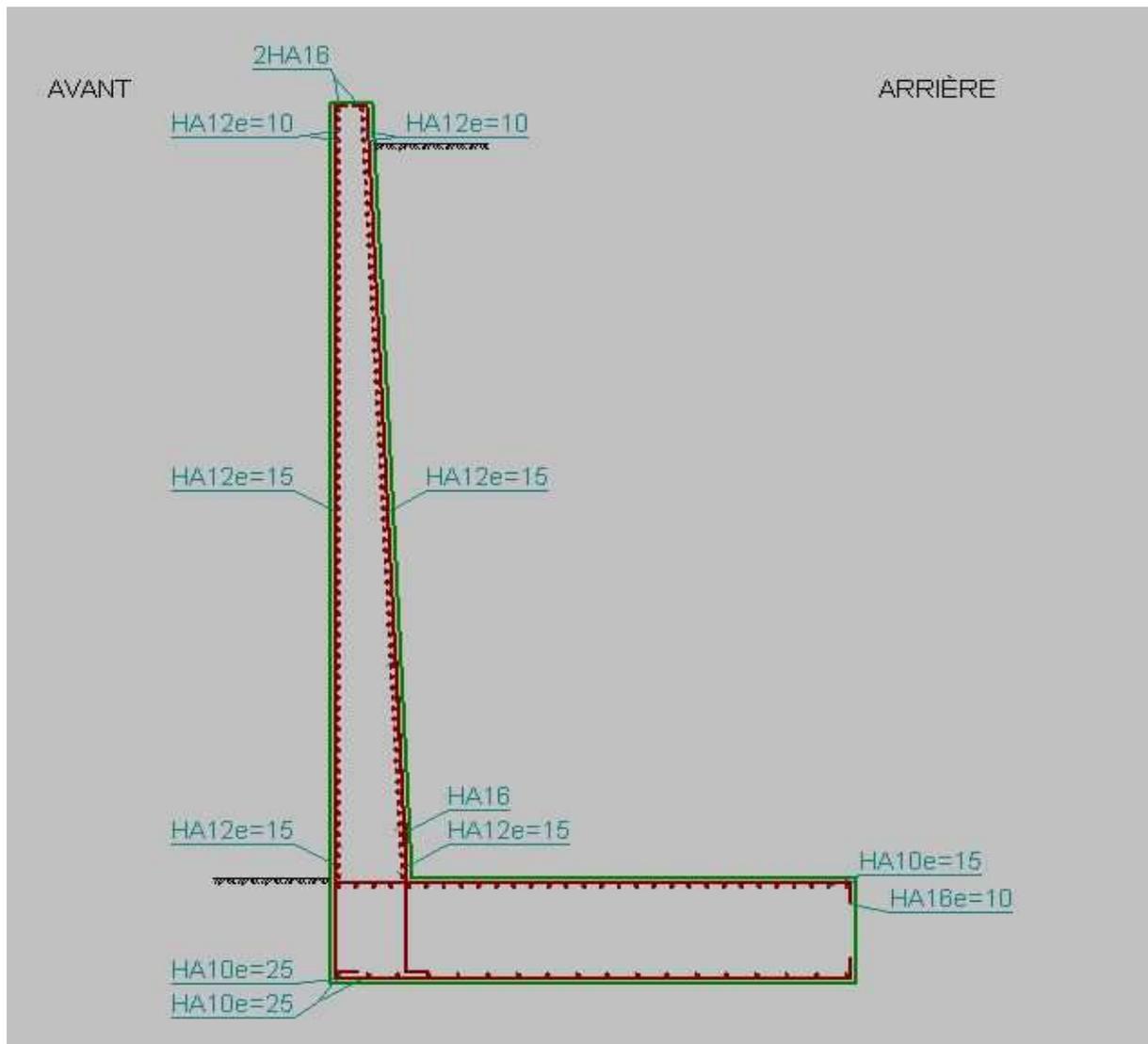


Figure 22 : Plan de ferrailage des murs bajoyers

## ANNEXE 9 : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE

### 9.1. Conception du barrage

#### ❖ Calcul de la hauteur de la digue du barrage

La hauteur de la digue ( $H_b$ ) est déterminée en majorant la hauteur au plan d'eau normale (PEN) de la retenue ( $H_n$ ) avec la charge au-dessus du déversoir ( $h=0,8$ ) et la revanche libre ( $R$ ). La hauteur à la côte PEN est la différence entre la côte de la crête du déversoir et celle du fond de la cuvette.

$$H_b = H_n + h + R$$

*Hauteur au plan d'eau normale  $H_n$*

$$H_n = \text{côte déversoir} - \text{côte fond}$$

$$H_n = 286,25 - 281 = 5,25 \text{ m}$$

### **Détermination de la revanche R**

Elle peut être déterminée par la formule suivante :

$$R = A \left[ h_v + \frac{v_v^2}{2g} \right]$$

avec

- A : le coefficient de sécurité pris égale à 0,75 ;
- $v_v$  : la vitesse de propagations des vagues ;
- $h_v$  : la hauteur des vagues ;
- g : l'accélération de la pesanteur.

### **Détermination de la hauteur des vagues**

La hauteur des vagues peut être calculée selon les formules empiriques de **Mallet et Pacquant**.

$$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} f^{0,5}$$

avec f le fetch en Km estimé à partir de la du bassin versant.

### **Détermination de la vitesse des vagues**

La vitesse de propagation des vagues de hauteurs comprises entre 0,5 et 2 m est donnée par la formule :

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

**Tableau 70: Résultats de calcul de la revanche et de la hauteur du barrage**

| Paramètres | A    | f (km) | $h_v$ (m) | $v_v$ (m) | g ( $m.s^{-2}$ ) | $R_{calculée}$ (m) | $R_{retenue}$ (m) | $H_b$ (m) |
|------------|------|--------|-----------|-----------|------------------|--------------------|-------------------|-----------|
| Valeurs    | 0,75 | 1,25   | 0,87      | 2,1       | 9,81             | 0,82               | 0,95              | 7         |

Dans le cadre de ce projet, le fetch calculé est égale 1,25 km environ correspondant à la longueur du plan d'eau à la côte 286,25 m (crête du déversoir).

La revanche libre ainsi calculée est de 0,82 m et nous retenons  $R=0,95$  m. On aura ainsi une revanche totale de 1,75 m et la hauteur totale du barrage serait de **7,00 m**. cette hauteur correspond à la côte 288 m.

### **❖ La largeur en crête de la digue**

La largeur en crête du barrage a été calculée avec les formules mentionnées dans le tableau récapitulatif des résultats de calcul (**Tableau 71**).

**Tableau 71: détermination de la largeur de la digue**

| Hauteurs             | Formules            | Largeur crête (m) |  |
|----------------------|---------------------|-------------------|--|
|                      |                     | Calculée          | Moyenne  |
| <b>KNAPPEN</b>       | $1,65\sqrt{H_b}$    | 4,4               | 4,05 m et nous<br>retenons une largeur<br>en crête $l_c=4$ m |
| <b>PREECE</b>        | $1,1\sqrt{H_b} + 1$ | 3,91              |  |
| <b>Autre formule</b> | $3,6\sqrt{H_b} - 3$ | 3,87              |  |

❖ **Pentes des talus**

Pour ce projet nous allons adopter en talus amont et aval des pentes de 1V/2H car la hauteur moyenne de la digue est de 7 m et comprise entre 5 m et 10 m.

❖ **Calcul de la longueur de la fondation  $L_f$**

$$L_f = 4 * H_{\max,digue} + l_c = 4 * 7 + 4 = \mathbf{32,00\ m}$$

❖ **Récapitulatif des éléments principaux de conception**

**Tableau 72: Eléments conception de la digue du barrage**

| Désignation  | Valeurs |
|--|---------|
| <b>Hauteur du devoir</b>                             | 5,25 m  |
| <b>Charge au-dessus du déversoir</b>                 | 0,8 m   |
| <b>Revanche libre</b>                                | 0,95    |
| <b>Hauteur de la digue <math>H_b</math></b>          | 7 m     |
| <b>Largeur en crête de la digue <math>L_c</math></b> | 5 m     |
| <b>Pente talus amont</b>                             | 2H/1V   |
| <b>Pente talus aval</b>                              | 2H/1V   |
| <b>Angle au pied des talus <math>\alpha</math></b>   | 26,57 ° |
| <b>Largeur de la fondation <math>L_f</math></b>      | 32 m    |

**9.2. Dimensionnement du barrage**

❖ **Etude de la stabilité des pentes**

En utilisant la méthode de résolution de la stabilité des talus par la méthode de Bishop sur le logiciel GEOSLOPE nous avons obtenu un facteur de sécurité de Bishop de  $F_s = 2,15$  supérieurs à 1,5. Les résultats des simulations sont fournis par les figures ci-dessous.

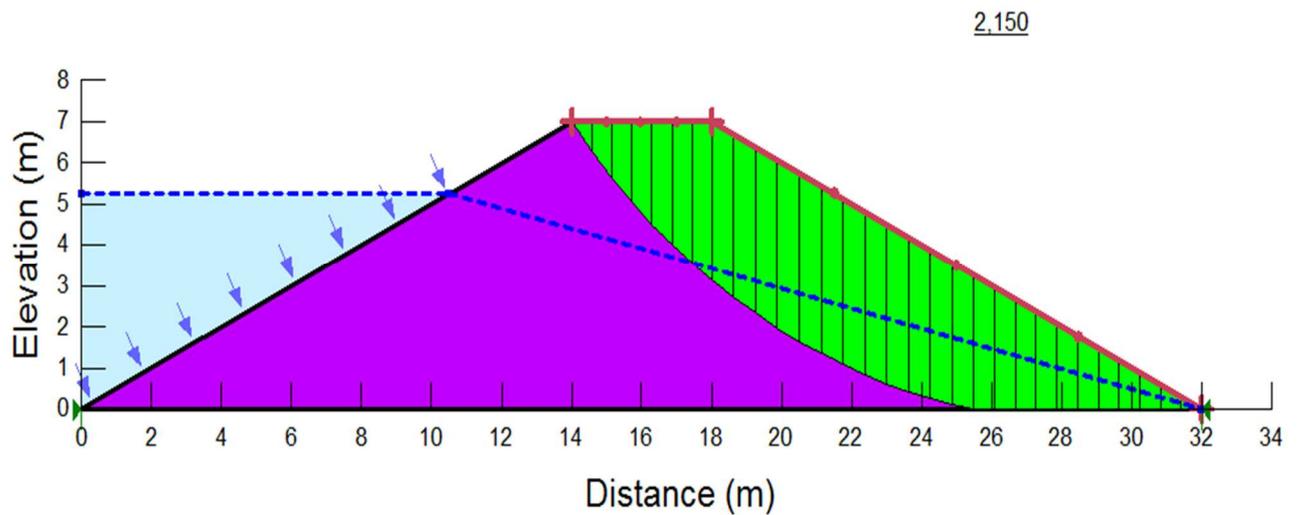


Figure 23: Vérification de la stabilité du talus aval

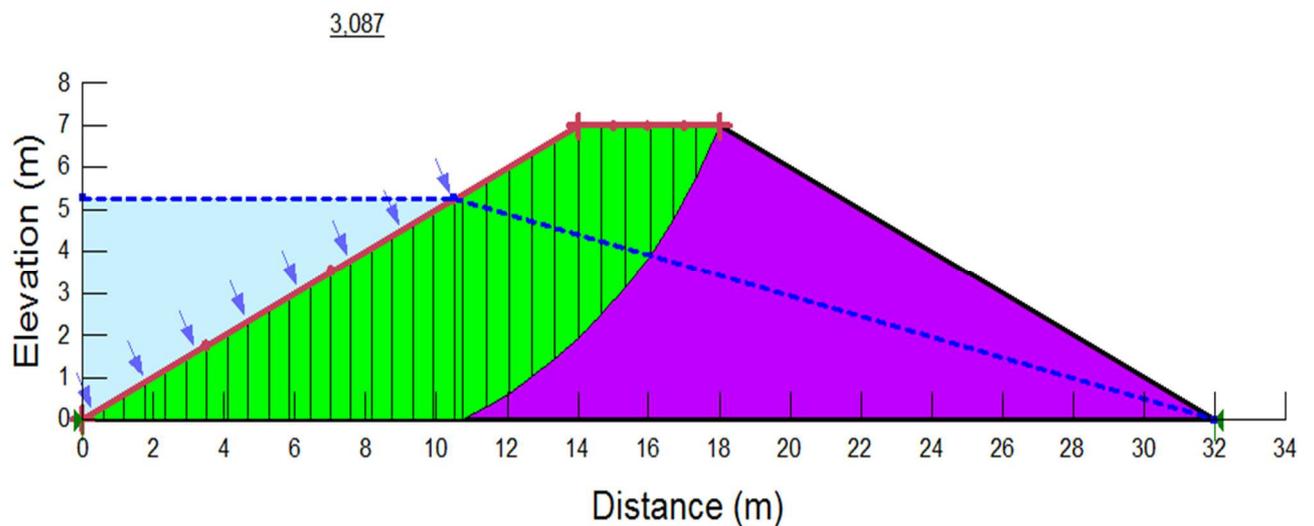


Figure 24 : Vérification de la stabilité du talus amont

#### ❖ Protection des talus

Les talus amont et aval seront protégés par des moellons latéritiques cimentés.

##### ✓ Calcul de l'épaisseur de la couche de protection

Elle est donnée par la relation  $e = 1.5 \times D_{50}$  avec  $D_{50} = f(h_v)$

Le tableau suivant nous donne les valeurs de  $D_{50}$  en fonction de la hauteur des vagues  $h_v$  calculée plus haut ( $h_v = 0,87m$ )

**Tableau 73: Valeur de D50 en fonction de hv**

| hv (m)       | D50 (m) |
|--------------|---------|
| [ 0 ; 0,3]   | 0,2     |
| [0,3 ; 0,6]  | 0,25    |
| [ 0,6 ; 1,2] | 0,3     |
| [ 1,2 ; 1,8] | 0,4     |
| [1,8 ; 2,4]  | 0,45    |

hv= 0,87 se situe dans l'intervalle [0,6; 1,2] donc **D50 = 0,30 m**. On calcul ainsi l'épaisseur des enrochements  $e = 1,5 \times 0,30 = 0,45$  m et nous considérons une épaisseur de **e=50 cm**.

✓ **Evaluation du poids des enrochements**

Pour évaluer le poids des moellons en fonction de sa densité et de sa masse volumique on utilise

la formule de Hudson :  $P = \frac{\rho h v^3}{[K_p \cotang(\alpha)][d-1]^3}$  Avec

- $K_p = 5$
- $\alpha = 26,57^\circ$  et
- $h v = 0,87$  m

Pour les moellons  $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$  et  $d = 2,5$

$$\text{AN: } P = \frac{2500 \times 0,87^3}{[5 \times \cotang(26,57)][2,5 - 1]^3}$$

**P = 49,24 kg/ml**

❖ **Estimation du débit de fuite**

Le débit de fuite est estimé par la formule suivante :

$$q = K_{ar} \times y_o \text{ avec } K_{ar} = 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$$

Déterminons  $y_o$  en utilisant l'équation de la parabole de KOZENY :  $y^2 = 2 * x * y_o + y_o^2$  avec

$$y_o = (H_d^2 + d^2)^{0.5} - d \text{ et } H_d = 5,25 \text{ m au droit où la hauteur de la digue est maximale.}$$

$$\text{On utilisera un drain horizontal de longueur } l_d = \frac{L_f}{4} \rightarrow l_d = \frac{32}{4} = 8,00 \text{ m}$$

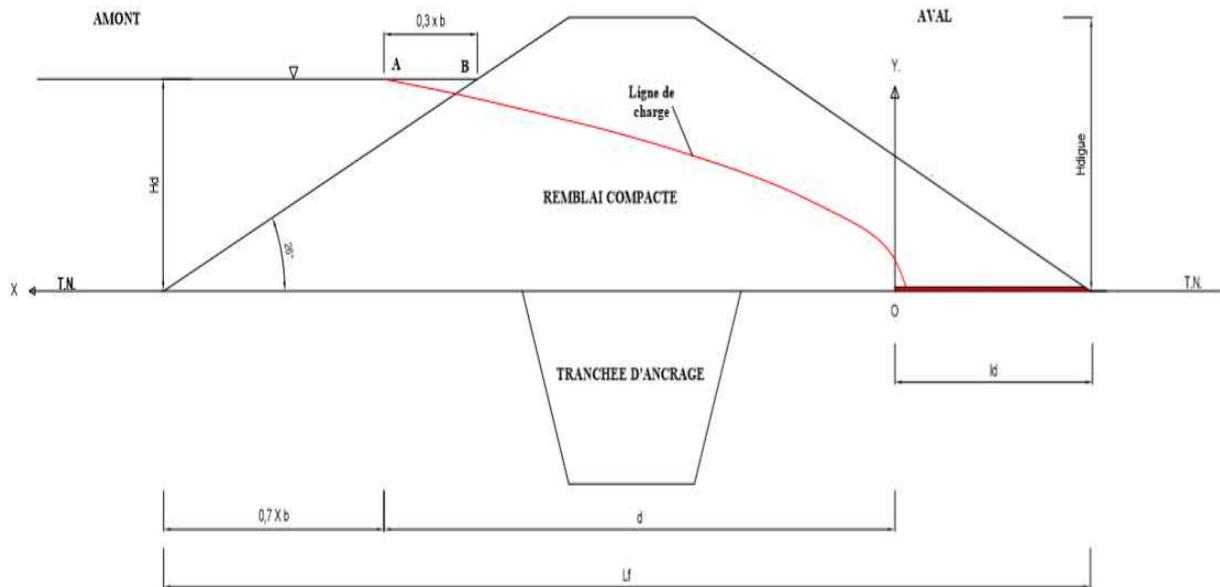
$$X = L_f - l_d = 33 - 8,25 \rightarrow X = 24,00 \text{ m}$$

$$d = X - 0.7 \times (2H_d) = 24,00 - 0.7 \times (2 \times 5,25) \rightarrow d = 16,65 \text{ m}$$

$$y_o = (5,25^2 + 16,65^2)^{0.5} - 16,65 \rightarrow y_o = 0.81 \text{ m}$$

$$q = 5 \times 10^{-9} \times 0,81 = 4,04 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

Le débit de fuite est la quantité d'eau qui siège sous la ligne phréatique. La ligne phréatique est représentée comme suit :



### ❖ Calcul de l'épaisseur du drain

L'épaisseur du drain se calcul par la formule suivante :

$$e = 2 \sqrt{\frac{q \times L_d}{K_d}}$$

On utilisera pour le drain du sable grossier ( $K_d = 10^{-5}$ )

$$\text{AN: } e = 2 \sqrt{\frac{4,04 \cdot 10^{-9} \times 8,00}{10^{-5}}} = 0,1137 \text{ m}$$

On prendra pour épaisseur de drain  $e = 15 \text{ cm}$ .

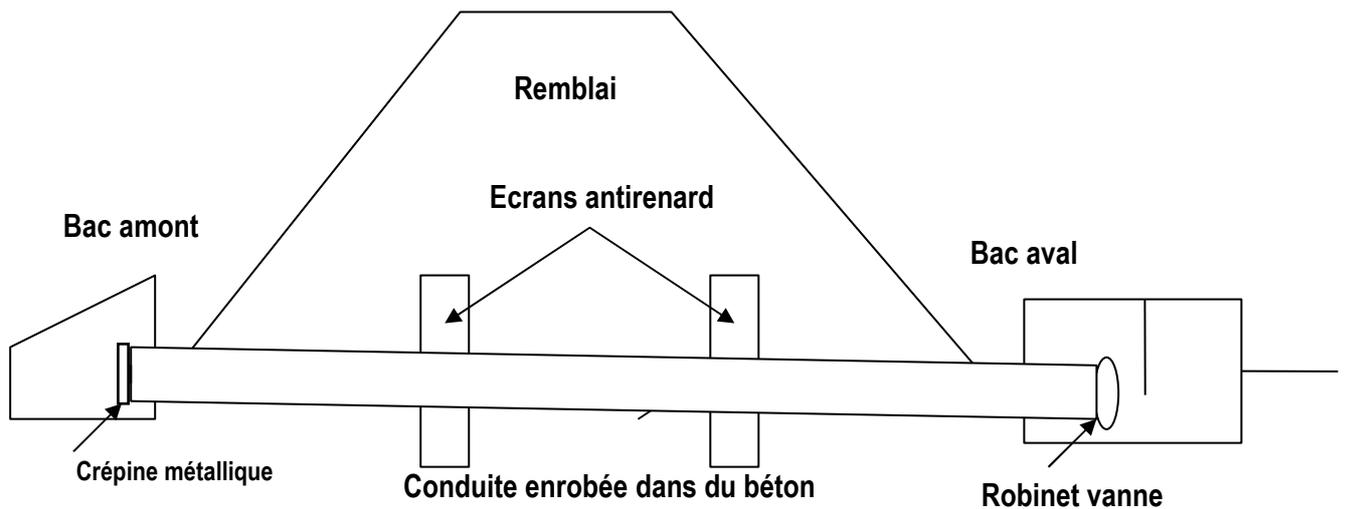
La crête de la digue sera protégée par un revêtement latéritique de 20 cm d'épaisseur et des murets parapets de 0,5m\*0,5m.

### ANNEXE 10 : DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE DE PRISE ET DE VIDANGE

Cet ouvrage permettra la vidange partielle ou complète de la retenue en cas de travaux urgents en amont de la digue ou d'incident. De même, Il sera combiné avec l'ouvrage de prise d'irrigation.

Il est composé de :

- ✓ un bac amont d'entrée,
- ✓ une conduite en fonte enrobé par du béton,
- ✓ deux robinets vannes placées dans un regard en aval : un pour la vidange et l'autre pour l'éventuel aménagement.



### 10.1. Dimensions et implantation de la conduite

La décharge du débit dans la conduite varie dans le temps en fonction de la charge d'eau au-dessus. En fait, le débit est maximum quand la retenue est pleine et minimum quand la retenue est presque vide.

Donc, pour déterminer le diamètre optimal de la conduite, des vitesses d'abaissement du niveau d'eau de la retenue, doivent être calculées pour différents diamètres.

Le diamètre de la conduite est déterminé en fonction des conditions de vidange, en tenant compte des pertes de charge et des conditions suivantes :

- la vitesse d'abaissement du niveau d'eau en amont au moment du drainage doit être suffisamment faible pour éviter des dommages au corps du barrage. Une vitesse limite de 0,5 m/jour en temps normal est considéré comme adéquate ;
- la vitesse de l'eau dans la conduite ne devrait être ni trop élevée, ni trop faible ;
- le diamètre de la conduite ne devrait pas être trop petit pour éviter un blocage lors de la vidange.

Le diamètre de la conduite est déterminé également pour satisfaire les demandes en eau du futur aménagement hydro-agricole à l'aval.

Le débit maximal à transiter sur la conduite mixte vidange/aménagement est déterminée au plan d'eau normal, c'est à dire quand le barrage sera plein. Ainsi, pour une vitesse moyenne de vidange de 0,1m/j, le plan d'eau passera de la côte  $Z_{PEN}$  à  $Z_{PEN} - 0,10m$  et le volume de 1 499 043 m<sup>3</sup> à 1 396 207 m<sup>3</sup> soit un volume évacué de 102 836 m<sup>3</sup> en 24h ce qui correspond à un débit d'évacuation maximum  $Q_{max} = 1,19 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Le débit dans la conduite est obtenu par la relation suivante :

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| $Q = C * S \sqrt{2g\Delta H}$ | <p><b>Q</b> : débit évacué (ou prélevé) en m<sup>3</sup>/s<br/> <b>S</b> : section de la galerie = <math>\pi D^2/4</math> m<sup>2</sup><br/> <b>g</b> : accélération de la pesanteur en m/s<sup>2</sup><br/> <b>H</b> : la charge d'eau au-dessus de l'orifice en m<br/> <b>C</b>: coefficient de contraction = 0.8</p> |
|-------------------------------|---|

D'où : 
$$D = \sqrt{\frac{4*Q}{C*\pi*\sqrt{(2*g*\Delta H)}}$$

Ainsi, pour une charge maximale d'environ h=2,65m ; le calcul donne **D = 510 mm**.

Nous adopterons une conduite en fonte de diamètre nominale **DN = 400 mm**.

La conduite en fonte traversant le corps de la digue sera coulée dans un béton d'épaisseur **0,2m**.

Elle sera aussi équipée d'une crépine métallique à son extrémité en amont. Sa Longueur d'environ 35 m sera calée comme suit :

L'extrémité amont correspondant à l'entrée de l'eau dans la conduite est fixée à la cote **283,60 m** et l'extrémité aval correspondant au débouché aval sera calée à la cote **283,35 m**.

### 10.2. Bac amont

Le calage du bac amont se fait en tenant compte de la tranche d'eau morte qui est appelée à être progressivement comblée par les dépôts solides. Il devrait également permettre d'exploiter au maximum la capacité de stockage de la retenue pour l'irrigation (contrainte de la cote moyenne des terres aménageables en aval).

### 10.3. Bac aval

Le bac aval sera en béton armé comprenant une chambre de vannes contenant les deux vannes en fonte (prise et vidange) de mêmes dimensions soit DN200 ; un réducteur en fonte DN400/DN200 et une Té égal en fonte DN200.

Le regard sera de dimension 2.5, m x 2,5m pour faciliter la manipulation de la vanne avec une ouverture à panneaux amovibles aménagée au plafond (grilles Caillebotis posé sur cornières).

## ANNEXE 11 : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

### 12.1. Identification des impacts potentiels

L'identification des impacts probables du projet consiste à confronter les activités lors des différentes phases du projet et le milieu récepteur. Nous utiliserons la matrice de LEOPOLD pour mieux déterminés les types d'impacts que créent les activités du projet sur le milieu récepteur. Les paramètres de notre matrice sont :

| Effet   | Effet positif | Effet négatif | Effet nul | Les deux effets |
|---------|---------------|---------------|-----------|-----------------|
| Symbole | +             | -             | 0         | + -             |

**Tableau 74 : Identification des impacts avec Matrice de Léopold**

| SOURCE D'IMPACT/ DESCRIPTION DES ACTIVITES   | MILIEU BIOPHYSIQUE |     |      |            |       |         |               |               | MILIEU HUMAIN       |                 |                |                      |       |          |        |                |
|--|--------------------|-----|------|------------|-------|---------|---------------|---------------|---------------------|-----------------|----------------|----------------------|-------|----------|--------|----------------|
|  | AIR                | EAU | SOLS | VEGETATION | FAUNE | PAYSAGE | SEDIMENTATION | CLIMAT SONORE | OCCUPATION DES SOLS | SANTE- SECURITE | QUALITE DE VIE | AGRICULTURE/EL EVAGE | PECHE | COMMERCE | EMPLOI | INFRASTRUCTURE |
| <b>PHASE DE CONSTRUCTION</b>   |                    |     |      |            |       |         |               |               |                     |                 |                |                      |       |          |        |                |
| Installation du chantier   | -                  | 0   | -    | -          | -     | -       | 0             | -             | 0                   | 0               | +              | 0                    | 0     | +        | 0      | +              |
| Recrutement de personnel et sa base de vie   | 0                  | 0   | 0    | 0          | 0     | 0       | 0             | 0             | 0                   | -               | +              | 0                    | 0     | +        | +      | 0              |
| Débroussaillage abattage, déboisement dans l'emprise du projet   | -                  | 0   | -    | -          | -     | -       | -             | 0             | 0                   | -               | 0              | -                    | 0     | 0        | +      | -              |
| Création et exploitation des emprunts et carrières   | -                  | 0   | -    | -          | -     | -       | -             | -             | 0                   | -               | 0              | 0                    | 0     | 0        | +      | 0              |
| Stockage du matériel   | 0                  | 0   | -    | -          | 0     | 0       | 0             | -             | 0                   | -               | 0              | 0                    | 0     | 0        | 0      | 0              |
| Transport et circulation liée aux activités de chantier  | -                  | -   | 0    |            | -     | 0       | 0             | -             | 0                   | -               | -              | 0                    | 0     | +        | 0      | -              |
| Réalisation de la digue de protection et du déversoir (préparation et mise en œuvre de bétons pour les ouvrages de maçonnerie-béton) | -                  | -   | -    | 0          | 0     | 0       | 0             | -             | 0                   | -               | 0              | 0                    | 0     | +        | +      | +              |
| Repli du chantier (restauration des zones d'emprunts)  | -                  | 0   | +    | +          | +     | +       | 0             | -             | 0                   | 0               | 0              | 0                    | 0     | 0        | 0      | 0              |
| <b>PHASE D'EXPLOITATION</b>  |                    |     |      |            |       |         |               |               |                     |                 |                |                      |       |          |        |                |
| Mise en eau du barrage   | +                  | +   | +    | +          | +     | +       | -             | 0             | -                   | -               | 0              | 0                    | 0     | 0        | +      | -              |
| Exploitations diverses de l'eau du barrage   | 0                  | -   | -    | 0          | -     | 0       | -             | 0             | 0                   | -               | +              | +                    | +     | +        | +      | 0              |
| Présence du trafic sur la digue  | -                  | 0   | -    | 0          | -     | 0       | 0             | -             | 0                   | -               | 0              | 0                    | 0     | 0        | 0      | 0              |
| Fréquentation du bétail autour du barrage et des périmètres irrigués   | 0                  | -   | 0    | -          | 0     | -       | 0             | 0             | 0                   | 0               | 0              | +-                   | 0     | 0        | 0      | 0              |

## 12.2. Evaluation des impacts potentiels

La grille d'évaluation de FECTEAU a été utilisée comme outils de synthèse résumant l'importance des impacts. Elle permet d'évaluer l'importance de l'impact. Le tableau ci-dessous présente la synthèse des caractéristiques des impacts du projet.

*Tableau 75 : Matrice de caractérisation et d'évaluation de FECTEAU*

| Intensité de l'impact         | Étendue de l'impact | Durée de l'impact         | Importance de l'impact |
|-------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Forte= Majeure= élevée</b> | Régionale           | Longue= <b>permanente</b> | Majeure                |
|                               |                     | Moyenne                   | Majeure                |
|                               |                     | Courte= <b>temporaire</b> | Majeure                |
|                               | Locale              | Longue= <b>permanente</b> | Majeure                |
|                               |                     | Moyenne                   | Moyenne                |
|                               |                     | Courte= <b>temporaire</b> | Moyenne                |
|                               | Ponctuelle          | Longue= <b>permanente</b> | Majeure                |
|                               |                     | Moyenne                   | Moyenne                |
|                               |                     | Courte= <b>temporaire</b> | Mineure                |
| <b>Moyenne= modérée</b>       | Régionale           | Longue= <b>permanente</b> | Majeure                |
|                               |                     | Moyenne                   | Moyenne                |
|                               |                     | Courte= <b>temporaire</b> | Moyenne                |
|                               | Locale              | Longue= <b>permanente</b> | Moyenne                |
|                               |                     | Moyenne                   | Moyenne                |
|                               |                     | Courte= <b>temporaire</b> | Moyenne                |
|                               | Ponctuelle          | Longue= <b>permanente</b> | Moyenne                |
|                               |                     | Moyenne                   | Moyenne                |
|                               |                     | Courte= <b>temporaire</b> | Mineure                |
| <b>Faible</b>                 | Régionale           | Longue= <b>permanente</b> | Majeure                |
|                               |                     | Moyenne                   | Moyenne                |
|                               |                     | Courte= <b>temporaire</b> | Mineure                |
|                               | Locale              | Longue= <b>permanente</b> | Moyenne                |
|                               |                     | Moyenne                   | Moyenne                |
|                               |                     | Courte= <b>temporaire</b> | Mineure                |
|                               | Ponctuelle          | Longue= <b>permanente</b> | Mineure                |

**Tableau 76 : Evaluation des impacts environnementaux et sociaux**

| Milieu affecté  | Impacts identifiés  | Evaluation de l'importance des impacts |           |                               |         |            |
|---|---|--|-----------|-------------------------------|---------|------------|
|   |   | Catégorie d'impact                     | Intensité | Etendue (portée géographique) | Durée   | Importance |
| <b>PHASE D'INSTALLATION ET DES TRAVAUX</b>              |   |  |           |                               |         |            |
| Milieu biophysique                                      |   |  |           |                               |         |            |
| Sols  | Accélération de l'érosion et risques de contaminations par les produits chimiques                     | Négatif                                | Faible    | Ponctuelle                    | Courte  | Mineure    |
| Air et climat sonore                                    | Pollutions atmosphérique et nuisances sonores   | Négatif                                | Moyenne   | Locale                        | Moyenne | Mineure    |
| Eaux de surface et eaux souterraines                    | Contaminations des eaux par les polluants   | Négatif                                | Faible    | Locale                        | Moyenne | Mineure    |
| Végétation  | Destruction de la végétation de jachère   | Négatif                                | Faible    | Ponctuelle                    | Courte  | Mineure    |
| Faune   | Destruction des habitats de la faune  | Négatif                                | Faible    | Locale                        | Moyenne | Mineure    |
| Milieu humain   |   |  |           |                               |         |            |
| Cadre de vie  | Production de déchets constitués de gravats et de débris végétaux                                     | Négatif                                | Forte     | Ponctuelle                    | Courte  | Majeure    |
| Bruits  | Nuisances sonores liées aux engins produisant grands bruits   | Négatif                                | Moyenne   | Ponctuelle                    | Moyenne | Moyenne    |
| Santé, Sécurité de la population riveraine des ouvriers | Nuisances diverses et maladies respiratoires dues aux gaz d'échappement et à la poussière et des IST. | Négatif                                | Faible    | Locale                        | Courte  | Mineure    |
| Activités agropastorales                                | Pertes de superficies cultivables et de pâturages pour les animaux                                    | Négatif                                | Moyenne   | Locale                        | Moyenne | Majeure    |
| Emploi et commerce                                      | Création d'emploi et développement des activités commerciales avec l'installation de l'entreprise     | Positif                                | Moyenne   | Locale                        | Courte  | Moyenne    |
| Patrimoine archéologique                                | Risques probables de destruction de patrimoine culturels et archéologique                             | Négatif                                | Faible    | Ponctuelle                    | Longue  | Mineure    |
| <b>PHASE D'EXPLOITATION</b>                             |   |  |           |                               |         |            |
| Milieu biophysique                                      |   |  |           |                               |         |            |
| Sols  | Modification de la dynamique physico-chimique des sols  | Négatif                                | Faible    | Locale                        | Longue  | Moyenne    |

Etudes techniques du barrage de Tampouy-Yarcé, Commune de Zitenga, Région du Plateau Central, au Burkina Faso

|   |  |         |         |        |        |         |
|---|--|---------|---------|--------|--------|---------|
| Eaux de surface et eaux souterraines                            | Disponibilité d'une grande quantité d'eau pour les besoins humains et animaux recharge de la nappe phréatique  | Positif | Forte   | Locale | Longue | Majeure |
| Végétation  | Mort de la végétation naturelles et des plantations ne supportant pas l'immersion prolongée.   | Négatif | Faible  | Locale | Longue | Moyenne |
| Faune   | Recolonisation du site par la faune aquatique (batraciens, insectes, crocodiles etc). Disponibilité de l'eau pour les animaux sauvages                                   | Positif | Moyenne | Locale | Longue | Moyenne |
| Milieu humain   |  |         |         |        |        |         |
| Santé, sécurité des populations riveraines                      | Effet dommageable sur la santé de la population, développement des insectes vecteurs de maladies (paludisme, bilharziose etc et risques de noyades.                      | Négatif | Faible  | Locale | Longue | Moyenne |
| Activités agropastorales  | Développement et intensification des activités agropastorales avec la présence prolongée de l'eau  | Positif | Moyenne | Locale | Longue | Moyenne |
| Emploi et commerce  | Apparition d'ouvriers temporaires pour les activités de maraichages et développement des transactions commerciales sur les produits de la pêche et de la maraîchéculture | Positif | Moyenne | Locale | Longue | Moyenne |
| Pêche   | Développement de la pêche avec la présence de la retenue   | Positif | Moyenne | Locale | Longue | Moyenne |
| Conditions de vie des femmes rurales et les groupes vulnérables | Amélioration des conditions des femmes avec les activités génératrices de revenus qu'elles pourront menées.  | Positif | Moyenne | Locale | Longue | Moyenne |
| Artisanat   | Développement des activités artisanales  | Positif | Faible  | Locale | Longue | Moyenne |
| Patrimoine archéologique  | Risques probables de destruction de patrimoine culturels et archéologique  | Négatif | Faible  | Locale | Longue | Moyenne |
| Infrastructures et/ou foncier                                   | Destruction et/ou inondation des logements<br>Perte des domaines fonciers  | Négatif | Faible  | Locale | Longue | Moyenne |

### 12.3. Plan de gestion environnementale et sociale (PGES)

Le PGES est constitué d'une série de mesures visant à atténuer les impacts négatifs et optimiser les impacts positifs du projet. Il prend en compte : la synthèse des impacts avec une présentation des mesures proposées, des activités à mettre en œuvre, des acteurs de cette mise en œuvre, des indicateurs ainsi que les acteurs de suivi et l'estimation des coûts des mesures proposées.

**Tableau 77 : Mise en œuvre des mesures environnementales**

| Milieu Récepteur                       | IMPACTS   | Action d'atténuation/<br>Bonification  | Objectif de l'action  | Acteurs de mise en œuvre                | Acteur de suivi   | Calendrier d'exécution              | Indicateur de suivi   |
|--|---|--|---|---|---|-------------------------------------|---|
| <b>Milieus biophysique</b>             |   |  |   |   |   |                                     |   |
| <b>Air/Micro climat</b>                | -Emission de poussière ;<br>-Emission de gaz d'échappement (CO <sub>2</sub> ) | -Arrosage régulier des voies d'accès au chantier et à la traversée des agglomérations ;<br>-visite technique régulier des véhicules et engins du chantier.                           | Minimiser la dégradation de la qualité de l'air pendant les travaux                           | Entreprise                              | -Mission de Contrôle (MDC)<br>-Comité de surveillance BUNEE | Début et pendant les travaux        | -Le chantier et la traversée des agglomérations sont arrosés<br>-Les véhicules et engins sont peu polluants |
| <b>Sols</b>                            | -Erosion et tassement du sol ;<br>-Pollution par les hydrocarbures ;          | -Remise en état des zones d'emprunt et de carrières ;<br>-Gestion des déchets solides et liquides  | -Réduire les risques de pollution des sols,   | Entreprise                              | -MDC<br>-Comité de surveillance DPEA                        | Pendant et après les travaux        | -les zones d'emprunt sont remises en état ;<br>-existence d'un plan de gestion des déchets de l'entreprise. |
| <b>Eaux de surface et souterraines</b> | -Risque de pollution par les matières en suspension et les hydrocarbures ;    | - collecte et élimination des déchets solides et liquides;<br>-mise en place un comité de gestion du barrage (CGB);<br>-délimiter un périmètre de protection des berges du barrage ; | -Réduire la pollution des eaux<br>-minimiser les risques d'envasement précoce de la retenue ; | -Entreprise,<br>- exploitant du barrage | MDC<br>Comité de surveillance CGB<br>Mairie                 | Début, pendant et après les travaux | -existence d'un comité de gestion du barrage ;<br>-Un périmètre de protection des berges du barrage existe  |

Etudes techniques du barrage de Tampouy-Yarcé, Commune de Zitenga, Région du Plateau Central, au Burkina Faso

| Milieu Récepteur                   | IMPACTS   | Action d'atténuation/<br>Bonification  | Objectif de l'action   | Acteurs de mise en œuvre                               | Acteur de suivi                           | Calendrier d'exécution       | Indicateur de suivi  |
|------------------------------------|---|--|--|--|---|------------------------------|--|
| <b>Végétation</b>                  | -Destruction du couvert végétal ;<br>-Prolifération des plantes envahissantes | -Plantation de compensation et protection des berges du barrage ;<br>-Reboisement compensatoire dans les zones d'emprunts ;              | -Réduire la destruction du couvert végétal<br>- Réduire la prolifération des plantes envahissantes   | -Entreprise,<br>-Populations bénéficiaires ;           | MDC<br>-Comité de surveillance<br>DPEEVCC | Pendant et Après travaux     | -Les arbres sont plantés et entretenus le long de la piste rurale, dans les zones d'emprunt et dans les berges du barrage        |
| <b>Faune/ animaux domestiques</b>  | -Risque de collision ;<br>-Destruction de l'habitat faunique ;                | -Interdiction de prélever la faune par le personnel du chantier pour l'alimentation, la limitation de vitesse à 30Km/h sur le chantier ; | -Eviter le braconnage<br>-Minimiser les risques de collisions  | -Entreprise,<br>-Exploitant du barrage ;<br>-DPEEVCC ; | MDC<br>-Comité de surveillance<br>DPEEVCC | Pendant et après les travaux | -Les conducteurs circulent à une vitesse réduite.  |
| <b>Milieu humain</b>               |   |  |  |  |   |                              |  |
| <b>Infrastructures et fonciers</b> | Destruction et/ou inondation des logements<br>Perte des domaines fonciers     | Mise en place d'un plan de dédommagement pour perte de foncier<br>Mise en place d'un plan de réinstallation habitations inondées         | Faciliter la résilience de la population face à la modification leur système de vie et de production | Entreprise,<br>-Populations bénéficiaires<br>Mairie    | MDC<br>Comité de surveillance<br>Mairie   | Dès le début des travaux     | Des nouveaux logements mis à la disposition des populations déplacées<br>Les propriétaires terriens Disposent de nouveaux champs |

Etudes techniques du barrage de Tampouy-Yarcé, Commune de Zitenga, Région du Plateau Central, au Burkina Faso

| Milieu Récepteur        | IMPACTS   | Action d'atténuation/<br>Bonification   | Objectif de l'action  | Acteurs de mise en œuvre  | Acteur de suivi                             | Calendrier d'exécution                                 | Indicateur de suivi   |
|-------------------------|---|---|---|---|---|--|---|
| <b>Sécurité / Santé</b> | -Nuisance olfactive, auditif et émission de poussière ;<br>-Développement de maladies hydriques (paludisme, bilharzioses) ;<br>-Risque d'accident de travail ou de circulation. | -Interdiction de l'accès des chantiers aux populations riveraines surtout les enfants ;<br>-Limitation la vitesse à 30 km/h<br>-Installer des balises et panneaux de signalisation à endroits dangereux ;<br>-Doter la main d'œuvre d'équipements de protection individuel (EPI) et veiller à leur utilisation effective ;<br>- Arrosage des chantiers et à la traversée des agglomérations | -Réduire le risque d'accident ;<br>-Maintenir le personnel en bonne santé<br>Minimiser le risque de transmission des IST  | - Entreprises<br>-Prestataires de service ;<br>-District sanitaire de la commune              | MDC<br>-Comité de surveillance<br>DPEEVCC   | Dès le début des travaux et pendant les travaux        | - le nombre d'accidents sur les chantiers est faible<br>-les balises et panneaux de signalisation existe ;<br>-le personnel est doté EPI ;<br>-les voies d'accès au chantier sont arrosées au moins 2 fois par jours. |
| <b>Population</b>       | -Conflits potentiels entre utilisateurs de l'eau du barrage (pêcheurs, agriculteurs et éleveurs) ;<br>-Risque de noyade ;<br>-Risque de contamination aux IST (VIH/SIDA) ;      | -Sensibiliser les populations riveraines sur les risques de noyade ;<br>- Mettre en place un comité de gestion du barrage ;<br>- mettre en place un comité de gestion des conflits liés à l'utilisation de l'eau du barrage<br>-Sensibilisation les populations et le personnel du chantier sur les IST/SIDA  | -Réduire le risque de noyade des enfants ;<br>-réglementer l'accès au barrage ;<br>-Réduire les risques de conflits ;<br>-Réduire les risques de propagation des IST/SIDA | - Mairie ;<br>-Préfecture,<br>-CVD<br>-DPEAH ;<br>-DPRAH<br>-District sanitaire de la commune | -MDC ;<br>- Comité de suivi ;<br>- DPEEVCC  | Début et pendant les travaux et pendant l'exploitation | -le personnel des chantiers et les riverains sont sensibilisés sur l'IST/SIDA ;<br>- PV de sensibilisation des riverains sur le risque de noyade<br>-un comité de gestion des conflits est effectif.                  |
| <b>Emploi</b>           | -Création d'emplois temporaires ou permanents<br>-Brassage de population,<br>-Intégration, cohésion sociale   | Privilégier l'embauche de la main d'œuvre locale ;<br>Priorité est donnée aux entreprises locales pour la réalisation des travaux.  | -Réduire le chômage temporairement<br>-Lutter contre la pauvreté<br>-Contribuer au bien-être de la population locale  | -Entreprises<br>-Mairie   | MDC<br>-Comité de surveillance ;<br>-Mairie | Dès le début des travaux et pendant les travaux        | -La main d'œuvre locale est recrutée ;<br>-Les entreprises locales sont impliquées dans les travaux   |

## 12.4. Coûts de mise en œuvre des mesures environnementales et sociales

L'évaluation des coûts des mesures environnementales et sociales proposées vise à permettre au maître d'ouvrage de mesurer les implications financières de son engagement à gérer les impacts du projet sur l'environnement biophysique et humain. Le tableau suivant nous renseigne sur cette évaluation.

*Tableau 78 : Coûts de mise en œuvre des mesures environnementales et sociales*

| <b>Impacts/Actions environnementales</b>  | <b>Unité</b> | <b>Quantité</b> | <b>C.U. (FCFA)</b> | <b>TOTAL (FCFA)</b> |
|---|--------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| Dégradation de la qualité de l'air (arrosage des voies d'accès)   | Forfait      | ---             | ---                | 1 000 000           |
| Remise en état des emprunts   | Forfait      | ---             | ---                | 3 000 000           |
| Renforcement technique des exploitants du barrage sur la protection des berges,                               | Forfait      | ---             | ---                | 3 000 000           |
| Renforcement des mécanismes de commercialisation  | Forfait      | ---             | ---                | 3 000 000           |
| Sensibilisation sur les infections sexuellement transmissibles telles que le VIH SIDA                         | Séances      | 5               | 600 000            | 3 000 000           |
| Mettre en place un plan d'IEC de prévention sur les maladies hydriques (paludisme, etc.)                      | Séances      | 3               | 500 000            | 1 500 000           |
| Former et sensibiliser le personnel sur les risques liés à l'intoxication et aux mesures de sécurité          | Session      | 2               | 500 000            | 1 000 000           |
| Mise en place du Groupement des pêcheurs  | Séances      | 3               | 400 000            | 1 200 000           |
| Appui à l'acquisition du matériel de pêche  | Lot          | 1               | 5 000 000          | 5 000 000           |
| Mise en place du Comité de Gestion du Barrage   | Séances      | 3               | 400 000            | 1 200 000           |
| Appui aux comités de gestion du barrage   | Annuel       | 5 ans           | 1.000.000          | 5 000 000           |
| Réalisation de couloirs d'accès au barrage  | Km           | 10              | 300 000            | 3 000 000           |
| Reboisement de compensation (zones d'emprunts, protection des berges, plantation d'alignement sur les pistes) | Plants       | 4100            | 2000               | 5 000 000           |
| Réalisation du rideau-abri  | Plants       | 1600            | 1 000              | 1 600 000           |
| Suivi reboisement compensatoire et entretien  | Annuel       | 3               | 500 000            | 1 500 000           |
| Surveillance et suivi environnemental (suivi permanent, la supervision, évaluation).                          | Forfait      | 1               | 7 000 000          | 7 000 000           |
| Relocalisation des personnes affectées par la réinstallation  | Ménages      | 25              | 4 500 000          | 125 000 000         |
| <b>TOTAL GENERAL</b>  |              |                 |                    | <b>171 000 000</b>  |

L'évaluation des impacts a conduit à la proposition des mesures environnementales visant à atténuer ou compenser les impacts négatifs et optimiser les impacts positifs tous élaborés dans un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES). Les estimations de coûts de mise en œuvre du PGES ont été chiffrées à la somme provisoire de **cent soixante-onze millions (171 000 000) FCFA**.

## ANNEXE 12 : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

### 1 : Avant métré

| Distance | Z TN   | Z projet | Prof | Dist partielle | Lc tranché | Lc crête digue | Lb tranché | Lb digue | Vol tranché | Vol digue | vol enroche |
|----------|--------|----------|------|----------------|------------|----------------|------------|----------|-------------|-----------|-------------|
| 0        | 288    | 288      | 0,62 | 0              | 3,50       | 4,00           | 3,91       | 4,00     | -           | -         | 0           |
| 25       | 287,55 | 288      | 0,62 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 3,91       | 5,80     | 57,45       | 27,56     | 11,5962346  |
| 50       | 287,4  | 288      | 1,25 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 4,33       | 6,40     | 91,55       | 68,25     | 16,3727336  |
| 75       | 287,24 | 288      | 1,25 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 4,33       | 7,04     | 122,40      | 93,84     | 20,8146583  |
| 100      | 287,08 | 288      | 1,25 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 4,33       | 7,68     | 122,40      | 122,64    | 25,2833938  |
| 125      | 286,9  | 288      | 1,25 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 4,33       | 8,40     | 122,40      | 156,55    | 30,2595543  |
| 150      | 286,71 | 288      | 2,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,17       | 9,16     | 203,13      | 196,58    | 35,5414041  |
| 175      | 286,56 | 288      | 2,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,17       | 9,76     | 270,83      | 234,78    | 39,8387865  |
| 200      | 286,46 | 288      | 2,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,17       | 10,16    | 270,83      | 263,73    | 42,7684536  |
| 225      | 286,34 | 288      | 2,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,17       | 10,64    | 270,83      | 292,80    | 46,0678847  |
| 250      | 286,21 | 288      | 2,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,17       | 11,16    | 270,83      | 326,89    | 49,6739761  |
| 275      | 286,08 | 288      | 3,15 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,60       | 11,68    | 321,34      | 363,58    | 53,3072242  |
| 300      | 285,99 | 288      | 3,15 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,60       | 12,04    | 358,31      | 393,98    | 55,9319131  |
| 325      | 285,98 | 288      | 3,15 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,60       | 12,08    | 358,31      | 405,01    | 56,4327933  |
| 350      | 285,94 | 288      | 3,15 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,60       | 12,24    | 358,31      | 414,12    | 57,4673821  |
| 375      | 285,78 | 288      | 3,45 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,80       | 12,88    | 383,63      | 451,54    | 61,6101656  |
| 400      | 285,6  | 288      | 3,45 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,80       | 13,60    | 401,06      | 508,20    | 66,5865274  |
| 425      | 285,6  | 288      | 3,45 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,80       | 13,60    | 401,06      | 528,00    | 67,0820393  |
| 450      | 285,63 | 288      | 3,45 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,80       | 13,48    | 401,06      | 521,12    | 66,3275784  |
| 475      | 285,52 | 288      | 3,45 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,80       | 13,92    | 401,06      | 543,20    | 69,0133875  |
| 500      | 285,18 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 15,28    | 427,50      | 638,65    | 77,8942593  |
| 525      | 284,76 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 16,96    | 445,31      |           |             |
| 550      | 284,21 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 19,16    | 445,31      |           |             |
| 575      | 283,38 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 22,48    | 445,31      |           |             |
| 600      | 282,49 | 288      | 4,35 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,40       | 26,04    | 501,19      |           |             |
| 625      | 282,84 | 288      | 4,35 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,40       | 24,64    | 538,31      |           |             |

Etudes techniques du barrage de Tampouy-Yarcé, Commune de Zitenga, Région du Plateau Central, au Burkina Faso

| Distance | Z TN   | Z projet | Prof | Dist partielle | Lc tranché | Lc crête digue | Lb tranché | Lb digue | Vol tranché | Vol digue | vol enroche |
|----------|--------|----------|------|----------------|------------|----------------|------------|----------|-------------|-----------|-------------|
| 650      | 283,28 | 288      | 4,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,50       | 22,88    | 553,13      |           |             |
| 675      | 283,18 | 288      | 4,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,50       | 23,28    | 562,50      |           |             |
| 700      | 283,06 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 23,76    | 489,84      |           |             |
| 725      | 282,98 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 24,08    | 445,31      | 1 747,98  | 140,090373  |
| 750      | 282,89 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 24,44    | 445,31      | 1 800,61  | 142,578172  |
| 775      | 282,6  | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 25,60    | 445,31      | 1 944,35  | 150,132767  |
| 800      | 282,62 | 288      | 3,77 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,01       | 25,52    | 447,13      | 1 988,91  | 150,431515  |
| 825      | 282,65 | 288      | 3,79 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,03       | 25,40    | 450,14      | 1 971,64  | 149,620993  |
| 850      | 282,68 | 288      | 3,82 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,05       | 25,28    | 454,06      | 1 952,61  | 148,782468  |
| 875      | 282,64 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 25,44    | 449,47      | 1 965,12  | 149,704918  |
| 900      | 282,68 | 288      | 3,79 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,03       | 25,28    | 448,94      | 1 954,44  | 148,810492  |
| 925      | 282,6  | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 25,60    | 447,69      | 1 983,20  | 150,711645  |
| 950      | 282,22 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 27,12    | 445,31      | 2 174,51  | 160,507837  |
| 975      | 282,48 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 26,08    | 445,31      | 2 124,40  | 155,022226  |
| 1000     | 282,97 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 24,12    | 445,31      | 1 854,16  | 141,98879   |
| 1025     | 283,41 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 22,36    | 445,31      | 1 584,89  | 129,54759   |
| 1050     | 283,99 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 20,04    | 445,31      | 1 292,15  | 113,750275  |
| 1075     | 284,57 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 17,72    | 445,31      | 1 009,98  | 97,5464633  |
| 1100     | 285,36 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 14,56    | 445,31      | 704,12    | 76,126565   |
| 1125     | 285,5  | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 14,00    | 445,31      | 578,25    | 70,2727943  |
| 1150     | 285,53 | 288      | 3,75 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 6,00       | 13,88    | 445,31      | 555,40    | 69,1226548  |
| 1175     | 285,62 | 288      | 3    | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,50       | 13,52    | 379,69      | 531,08    | 66,7764753  |
| 1200     | 285,72 | 288      | 3    | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,50       | 13,12    | 337,50      | 498,62    | 64,0098869  |
| 1225     | 285,82 | 288      | 3    | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,50       | 12,72    | 337,50      | 466,07    | 61,2149134  |
| 1250     | 285,93 | 288      | 2,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,17       | 12,28    | 297,92      | 432,44    | 58,1689686  |
| 1275     | 286    | 288      | 2,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,17       | 12,00    | 270,83      | 407,00    | 56,0987202  |
| 1300     | 286,07 | 288      | 2,6  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,23       | 11,72    | 278,38      | 386,12    | 54,14221    |
| 1325     | 286,18 | 288      | 2,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,17       | 11,28    | 276,25      | 358,12    | 51,1816999  |
| 1350     | 286,35 | 288      | 2,5  | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 5,17       | 10,60    | 270,83      | 316,64    | 46,6037569  |

Etudes techniques du barrage de Tampouy-Yarcé, Commune de Zitenga, Région du Plateau Central, au Burkina Faso

| Distance | Z TN   | Z projet | Prof | Dist partielle | Lc tranché | Lc crête digue | Lb tranché | Lb digue | Vol tranché | Vol digue | vol enroche |
|----------|--------|----------|------|----------------|------------|----------------|------------|----------|-------------|-----------|-------------|
| 1375     | 286,48 | 288      | 2    | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 4,83       | 10,08    | 234,38      | 278,96    | 42,8548149  |
| 1400     | 286,56 | 288      | 2    | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 4,83       | 9,76     | 208,33      | 254,56    | 40,4753011  |
| 1425     | 286,67 | 288      | 2    | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 4,83       | 9,32     | 208,33      | 230,60    | 37,4871332  |
| 1450     | 286,79 | 288      | 1,25 | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 4,33       | 8,84     | 159,11      | 203,83    | 34,1625252  |
| 1475     | 287,52 | 288      | 1    | 25,00          | 3,50       | 4,00           | 4,17       | 5,92     | 107,81      | 104,78    | 15,9864445  |
| 1490     | 288    | 288      | 1    | 15,00          | 3,50       | 4,00           | 4,17       | 4,00     | 57,50       | 14,40     | 1,8         |
|          |        |          |      |                |            |                |            |          | 21 060,75   | 40 220,97 | 3 925,58    |

**2 : devis estimatif du barrage**

| <b>DEVIS ESTIMATIF DU BARRAGE DE TAMPOUY-YARCE</b> |   |                |                 |                 |                    |
|--|---|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| <b>N°</b>  | <b>DESIGNATION</b>  | <b>UNITE</b>   | <b>QUANTITE</b> | <b>PRIX</b>     | <b>PRIX</b>        |
|  |   |                |                 | <b>UNITAIRE</b> | <b>TOTAL</b>       |
| <b>A.</b>  | <b>BARRAGE</b>  |                |                 |                 |                    |
| <b>A.0</b>   | <b>Plan de gestion<br/>environnementale et sociale</b>                                |                |                 |                 |                    |
| A.0.1  | Plan de gestion environnementale<br>et sociale  | ff             | 1,0             | 171 000 000     | 171 000 000        |
|  | <b>Sous-total A0</b>  |                |                 |                 | <b>171 000 000</b> |
| <b>A.1</b>   | <b>Frais de chantier</b>  |                |                 |                 |                    |
| A.1.1  | Amenée et repli   | ff             | 1,0             | 15 000 000      | 15 000 000         |
| A.1.2  | Installation du chantier, y<br>compris dossier d'exécution,<br>sondages géotechniques | ff             | 1,0             | 10 000 000      | 10 000 000         |
|  | <b>Sous-total A1</b>  |                |                 |                 | <b>25 000 000</b>  |
| <b>A2</b>  | <b>Tranché d'ancrage et fondation</b>   |                |                 |                 |                    |
| <b>A.2.1</b>                                       | Déblai aux engins pour tranchée   | m <sup>3</sup> | 21 060,8        | 4 500           | 94 773 392         |
| <b>A.2.2</b>                                       | Remblais compactés à l'OPN<br>(tranchée)  | m <sup>3</sup> | 21 060,8        | 6 000           | 126 364 523        |
|  | <b>Sous-total A2</b>  |                |                 |                 | <b>221 137 914</b> |
| <b>A.3</b>   | <b>Digue</b>  |                |                 |                 |                    |
| A.3.1  | Abattage et dessouchage d'arbres  | u              | 1,0             | 2 750 000       | 2 750 000          |
| A.3.2  | Débroussaillage - décapage de<br>l'emprise de la digue sur une<br>épaisseur de 30     | m <sup>3</sup> | 14 304,0        | 200             | 2 860 800          |
| A.3.3  | Déblai à la main butée de pied<br>amont et drain de pied aval                         | m <sup>3</sup> | 1 330,0         | 4 500           | 5 985 000          |
| A.3.4  | Remblais compactés à l'OPN<br>(digue)   | m <sup>3</sup> | 40 220,97       | 6 250           | 251 381 078        |
| A.3.5  | Filtre horizontal et vertical<br>(e=0,15)   | m <sup>3</sup> | 984,0           | 18 000          | 17 712 000         |
| A.3.6  | Couche de couronnement<br>latéritique   | m <sup>3</sup> | 1 064,0         | 5 500           | 5 852 000          |
| A.3.7  | Couche de pose talus amont et<br>aval   | m <sup>3</sup> | 1 570,2         | 5 500           | 8 636 280          |
| A.3.8  | Perré maçonné sur talus amont et<br>aval  | m <sup>3</sup> | 9 142,7         | 12 500          | 114 284 183        |
| A.3.9  | Enrochement butée de pied<br>amont et drain de pied aval                              | m <sup>3</sup> | 1 330,0         | 11 000          | 14 630 000         |
| A.3.10   | Béton cyclopéen pour murets de<br>crête   | m <sup>3</sup> | 745,0           | 37 500          | 27 937 500         |
| A.3.11   | Echelle limnométrique   | ml             | 7,0             | 300 000         | 2 100 000          |
| A.3.12   | Piézomètre  | u              | 1,0             | 8 000 000       | 8 000 000          |

| <b>DEVIS ESTIMATIF DU BARRAGE DE TAMPOUY-YARCE</b>   |  |                |                 |             |                      |
|--|--|----------------|-----------------|-------------|----------------------|
| <b>N°</b>  | <b>DESIGNATION</b>   | <b>UNITE</b>   | <b>QUANTITE</b> | <b>PRIX</b> | <b>PRIX</b>          |
| A.3.13   | Repère de nivellement esp 50m  | u              | 5,0             | 80 000      | 400 000              |
|  | <b>Sous-total A3</b>   |                |                 |             | <b>446 384 201</b>   |
| <b>A.4</b>   | <b>Evacuateur de crue</b>  |                |                 |             |                      |
| A.4.1  | Déblai à la main (fouilles des ouvrages)   | m <sup>3</sup> | 3 770,7         | 4 000       | 15 082 667           |
| A.4.2  | Béton cyclopéen à 300kg/ m <sup>3</sup> y compris coffrage                         | m <sup>3</sup> | 6 185,0         | 126 667     | 783 435 395          |
| A.4.3  | Béton armé à 350kg/ m <sup>3</sup> y compris coffrage                              | m <sup>3</sup> | 301,9           | 190 833     | 57 604 849           |
| A.4.4  | Béton de propreté à 150kg/ m <sup>3</sup> y compris coffrage                       | m <sup>3</sup> | 470,4           | 73 750      | 34 692 000           |
| A.4.5  | Béton ordinaire à 250kg/ m <sup>3</sup> pour bassin dissipation y compris coffrage | m <sup>3</sup> | 267,8           | 126 667     | 33 921 991           |
| A.4.6  | Joints waterstop   | ml             | 32,0            | 45 833      | 1 466 656            |
| A.4.7  | Joints bitumineux  | ml             | 64,0            | 4 500       | 288 000              |
| A.4.8  | Enrochement  | m <sup>3</sup> | 80,0            | 20 000      | 1 600 000            |
| A.4.9  | Gabions de blocage   | m <sup>3</sup> | 6,0             | 30 000      | 180 000              |
| A.4.10   | Tapis filtrant en sable sous bassin et enrochement                                 | m <sup>3</sup> | 192,0           | 10 000      | 1 920 000            |
|  | <b>Sous-total A4</b>   |                |                 |             | <b>930 191 558</b>   |
| <b>A.5</b>   | <b>Ouvrages de prise</b>   |                |                 |             |                      |
| A.5.1  | Béton de propreté à 150kg/ m <sup>3</sup>  | m <sup>3</sup> | 3,3             | 73 750      | 243 375              |
| A.5.2  | Béton ordinaire à 300kg/ m <sup>3</sup>  | m <sup>3</sup> | 25,7            | 126 667     | 3 249 009            |
| A.5.3  | Béton armé à 350kg/ m <sup>3</sup>   | m <sup>3</sup> | 38,5            | 110 000     | 4 229 889            |
| A.5.4  | Maçonnerie de moellons   | m <sup>3</sup> | 5,0             | 6 000       | 30 000               |
| A.5.5  | Déblai à la main   | m <sup>3</sup> | 42,1            | 4 500       | 189 450              |
| A.5.6  | Fourniture et pose de conduite en fonte DN 400 mm                                  | ml             | 35,0            | 100 000     | 3 500 000            |
| A.5.7  | Robinet-vanne DN 200 mm et accessoires   | u              | 2,0             | 750 000     | 1 500 000            |
|  | <b>Sous-total A5</b>   |                |                 |             | <b>12 941 723</b>    |
| <b>TOTAL</b>   |  |                |                 |             | <b>1 806 655 396</b> |
| <b>Prix du m<sup>3</sup> de volume de la cuvette</b> |  |                |                 |             | <b>1 204</b>         |

Un-milliard-huit-cents-six-millions-six-cents-cinquante-cinq-mil-troi-cents quatre-vingt-seize de FCFA.

### Annexe 13 : Pièces graphiques

# PLAN DE LA CUVETTE DU BARRAGE DE TAMPOUY-YARCE

688000 000000

689000 000000

690000 000000

691000 000000

1409200 000000

1408800 000000

1408400 000000

1408000 000000

1407600 000000

1407200 000000

1409200 000000

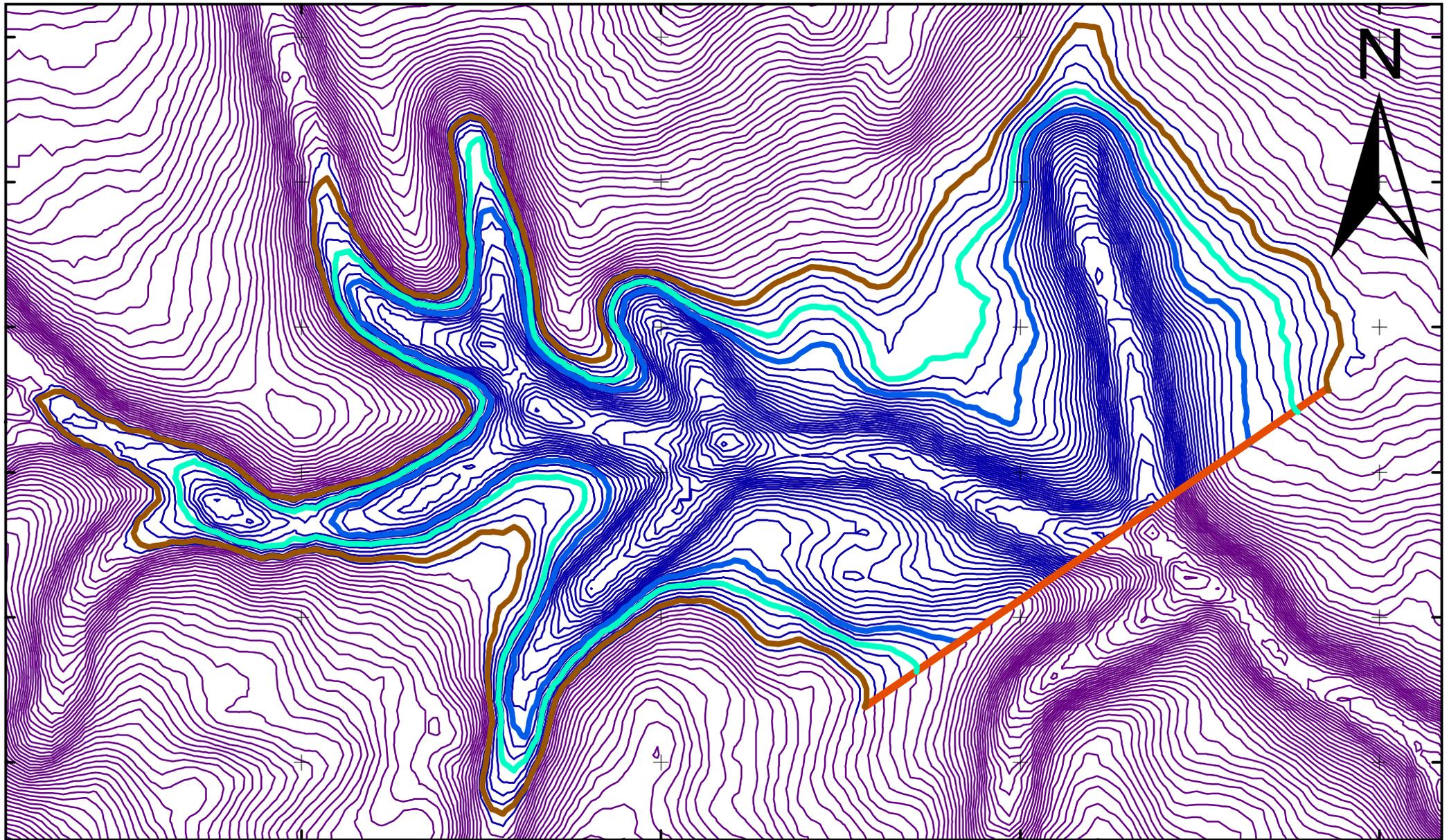
1408800 000000

1408400 000000

1408000 000000

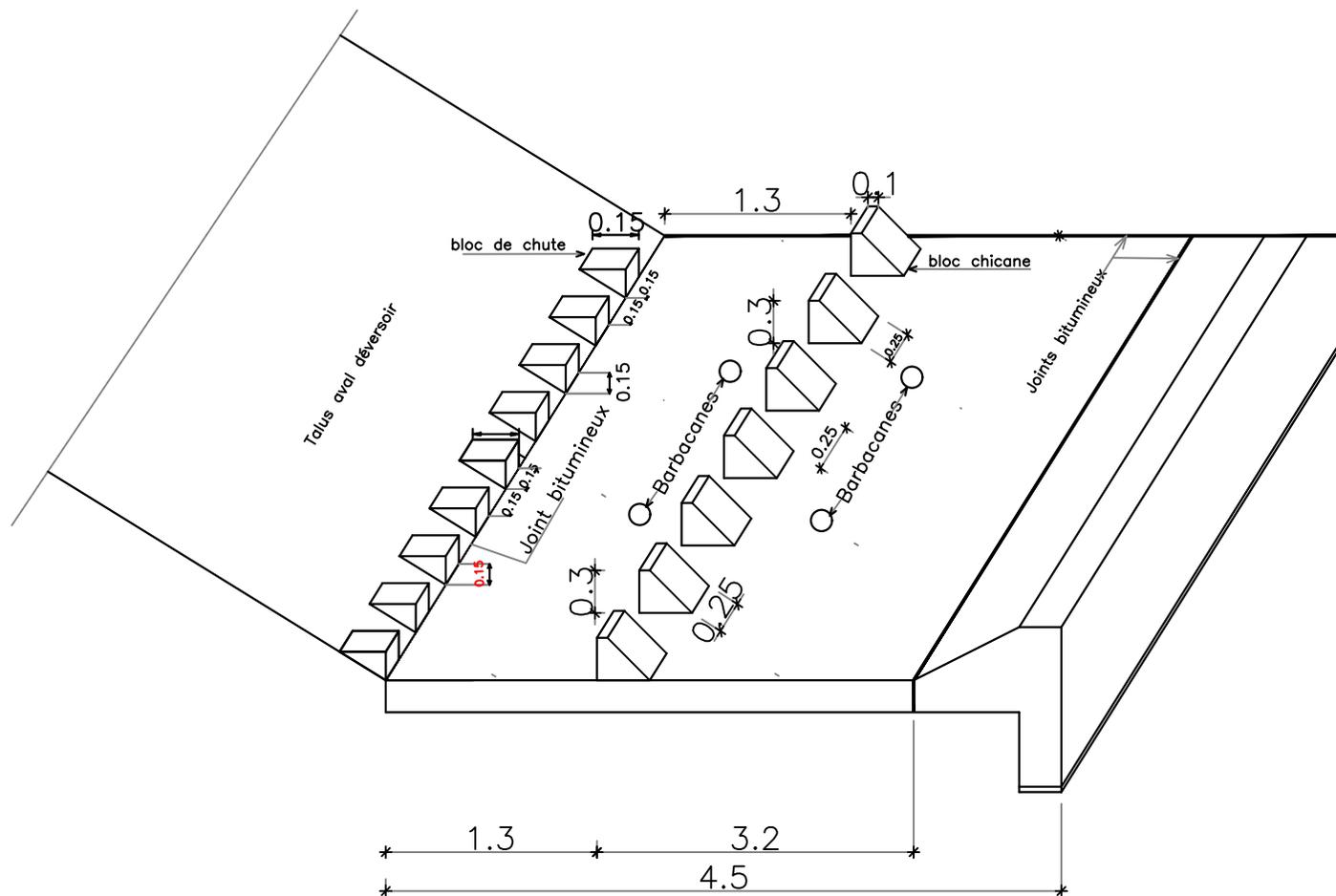
1407600 000000

1407200 000000

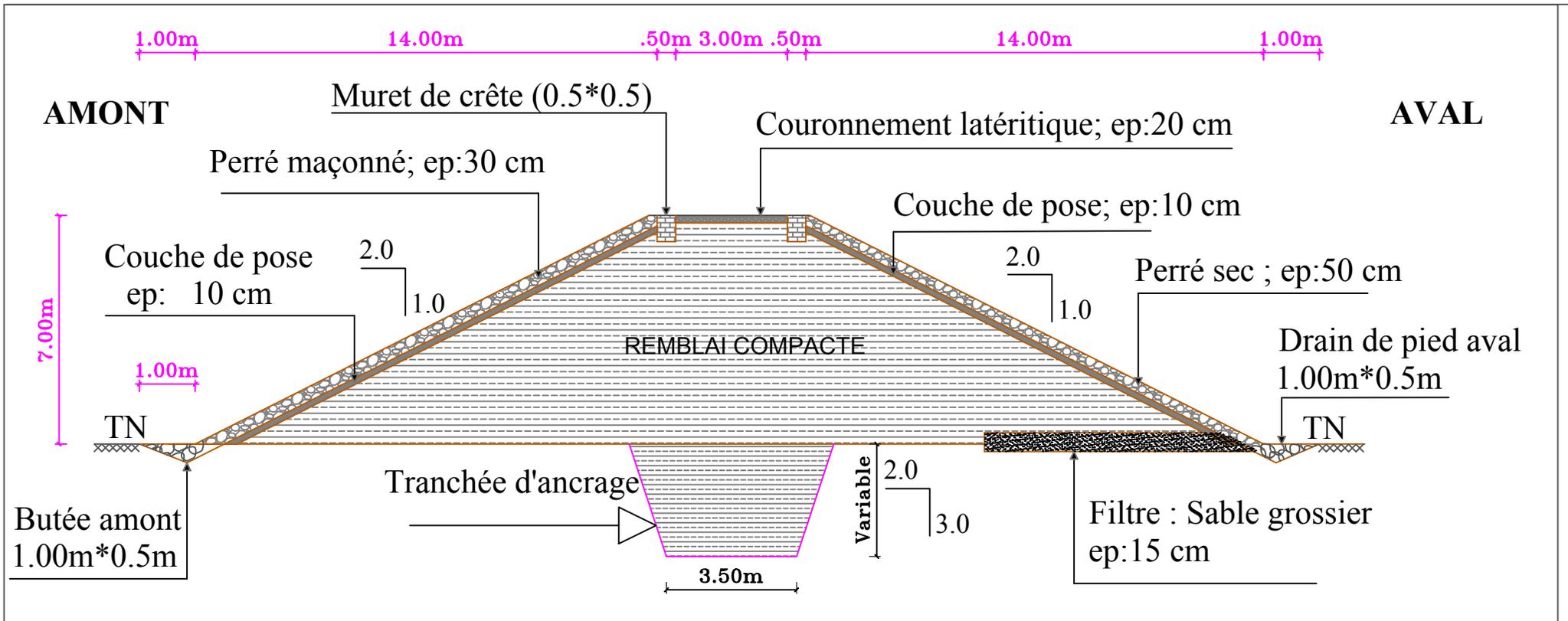


## Legende

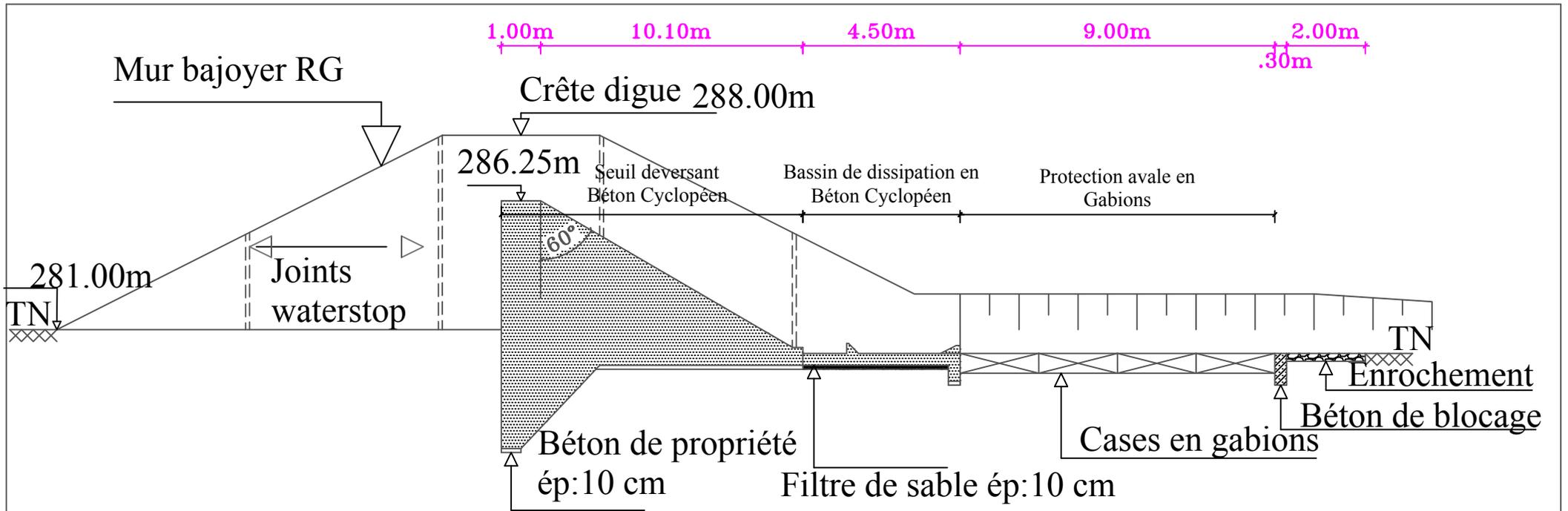
-  Cote\_Digue = 288
-  cote\_PEH= 287,05
-  Cote\_PEN=286,25
-  Profil\_digue



|  |   |                                  |   |
|--|---|----------------------------------|---|
| BURKINA FASO<br>-----<br>Ministère de l'Eau et de l'Assainissement<br>-----<br>Secrétariat Général<br>-----<br>Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques | Réhabilitation du Barrage de<br>Tampouy-Yarcé<br><br>  | Réalisateur                      | Date: Nov. 2019                         |
|  |   | Ousseni OUEDRAOGO                | Plan N°2                                |
|  |   | 2016 0018<br>Promotion 2019/2020 | Vue en plan du bassin de<br>dissipation |



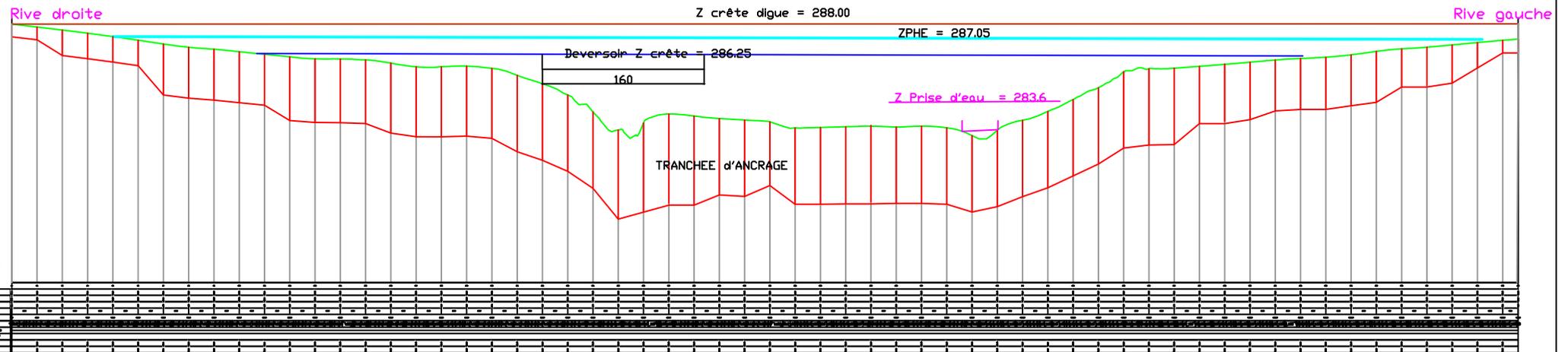
|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| <p><b>BURKINA FASO</b></p> <p>Ministère de l'eau et de l'assainissement</p> <p>-----</p> <p>Secrétariat Général</p> <p>-----</p> <p>Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques</p> | <p>Construction du Barrage de Tampouy-Yarcé</p> | <p>Réalisateur</p> <p>Ousseni OUEDRAOGO</p> <p>2016 0018</p> <p>Promotion 2019/2020</p> | <p>Date : Nov. 2019</p>                  |
|   |   |   | <p>Plan N°3</p>                          |
|   |   |   | <p>Coupe transversale de la digue du</p> |



|  |  |   |                         |
|--|--|---|-------------------------|
| <p>BURKINA FASO</p> <p>Ministère de l'eau et de l'assainissement</p> <p>Secrétariat Général</p> <p>Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques</p> | <p>Construction du Barrage de Tampouy-Yarcé</p>  | <p>Réalisateur</p> <p>Ousseni OUEDRAOGO<br/>2016 0018<br/>Promotion 2019/2020</p> | <p>Date : Nov. 2019</p> |
|  | <p>2iE</p>  |   | <p>Plan N°4</p>         |
| <p>Coupe transversale de l'évacuateur de crue</p>  |  |   |                         |



PROFIL EN LONG DE LA DIGUE



Plan N°6  
 2016 0018  
 Promotion 2019/2020

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| BURKINA FASO<br>Ministère de l'Eau et de l'Assainissement<br>Secrétariat Général<br>Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques | Construction du Barrage<br>de Tampouy-Yarcé<br>  | Réalisateur  | Date : Nov. 2019                       |
|   |  | Ouseni OUEDRAOGO<br>2016 0018<br>Promotion 2019/2020 | Plan N°6<br>Profil en long de la digue |