



**ETUDE TECHNIQUE POUR LA RECONSTRUCTION DU  
BARRAGE DE KOBRE DANS LA COMMUNE DE DOURTENGHA,  
PROVINCE DU KOULPELOGO, REGION DU CENTRE – EST AU  
BURKINA FASO**

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

**SPECIALITE : GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE**

**Option : Infrastructures et Réseaux Hydrauliques**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le **02 juillet 2020** par

**Barthelemy KOLOGO (20110934)**

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

Maître de stage : **Rodrigue P. WALBEOGO**, Ingénieur du Génie Rural, SERAT

Structure d'accueil : Société d'Etudes, de Réalisation et d'Assistance Technique (SERAT)

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr. Angelbert BIAOU**

Membres et correcteurs : **M. Patrick GBOHOU**

**M. Célestin OVONO MEZUI**

**Promotion [2019/2020]**

## **DEDICACES**

*Je dédie ce document à :*

- Mon défunt père, feu Salam KOLOGO qui nous a quitté depuis quelques années mais demeure dans nos cœurs ;*
- Ma mère KOLOGO née KABORE Rachel pour ces bénédictions multiples ;*
- Mon épouse Safiatou et mon fils Ethan pour le soutien, l'accompagnement et la compréhension ;*
- Mes grands frères Jonas et Aggée KOLOGO pour l'attention particulière dont j'ai et continue de bénéficier à leurs côtés ;*
- Toutes ces personnes de près ou de loin, qui ne cessent et continuent de m'accompagner.*

*Que Dieu vous bénisse !*

## **REMERCIEMENTS**

Un adage de chez nous dit ceci : « *une seule main ne peut amasser de la farine* », d'où le sens de nos remerciements et notre gratitude envers toutes les personnes qui nous ont accompagné.

De façon particulière, nos remerciements sont à l'égard de :

- Notre institut de formation 2iE et tout le corps enseignant et administratif pour la qualité de la formation dont nous avons bénéficié ;
- Mon Directeur de mémoire, monsieur Moussa LO qui, malgré ses multiples occupations n'a cessé de m'apporter son accompagnement, ses précieux conseils qui m'ont servi de boussole dans la conduite de mes travaux ;
- Monsieur Saidou KAFANDO, Directeur Général du bureau d'études SERAT, qui a bien voulu m'accepter dans sa structure pour mon stage de fin d'études ;
- Mon maitre de stage, monsieur WALBEOGO P. Rodrigue qui m'a accompagné et m'a encadré dans la réalisation du présent travail ;
- Dr. Dial NIANG, enseignant chercheur en Hydrologie à l'institut 2iE, pour son accompagnement dans le cadre de mes travaux ;
- Tout le personnel du bureau d'étude SERAT pour l'accueil, la collaboration et le soutien que j'ai bénéficié ;
- Toutes ces personnes de près ou de loin qui ont contribué d'une manière ou d'une autre pour la réussite du présent travail.

## RESUME

Le Programme National des Aménagements Hydrauliques (PNAH) vise à contribuer à la lutte contre la pauvreté selon une approche qui privilégie la logique de bonne gestion à travers la maintenance des investissements existants. Inscrit dans ce cadre, ce travail avait pour objectif d'étudier la reconstruction du barrage de Kobre, suite à la rupture du déversoir et la dégradation de la digue survenue en 2010.

Pour atteindre cet objectif, nous avons proposé un site pour la reconstruction du barrage. Ensuite, nous avons proposé une conception et le dimensionnement de la digue, de l'évacuateur de crue et des ouvrages annexes. Nous avons également identifié les impacts du projet et les mesures de gestion de ces impacts, proposé un mode de gestion durable des infrastructures et estimer le cout du projet. La superficie agricole aménageable a pu être également réalisée.

En terme de résultats, notons que le nouveau barrage aura une capacité de 1 079 791 m<sup>3</sup>. Les apports annuels du bassin sont estimés à 1 476 348 m<sup>3</sup>, de quoi remplir le barrage et satisfaire les différents besoins par campagne estimés à 371 435 m<sup>3</sup>. La digue est homogène en remblai argileux longue de 995 m et muni d'un drain horizontal. L'évacuateur de crue est composé d'un déversoir poids en position central de 35 m de long. Il est possible d'aménager 20 ha par campagne. Un comité a été proposé pour une meilleure gestion des infrastructures dont le cout global approximatif s'élève à **huit cent quatre-vingt-seize millions quatre cent soixante-trois mille sept cent cinquante-six (896 463 756) francs CFA (TTC)**, prenant en compte le plan de gestion environnemental et social des impacts.

### Mots Clés :

---

- 1 – Déversoir poids**
- 2 – Diagnostic**
- 3 - Digue homogène**
- 4 - Kobre**
- 5 – Rehabilitation**

## **ABSTRACT**

The National Program of Hydraulic Improvements (PNAH) aims to contribute to the fight against poverty according to an approach which favors the logic of good management through the maintenance of existing investments. In this context, this work aimed to study the reconstruction of the Kobre dam, following the rupture of the weir and the deterioration of the dyke which occurred in 2010.

To achieve this objective, we proposed a site to rebuild the dam. Then, we proposed a design and sizing of the dike, the spillway and related works. We also identified the impacts of the project and the measures to manage these impacts, proposed a sustainable infrastructure management method and estimated the cost of the project. The agricultural area could also be developed.

In terms of results, note that the construction of the dam on a new site is necessary in view of the many constraints related to rehabilitation. The new dam will have a capacity of 1,079,791 m<sup>3</sup>. Annual contributions to the basin are estimated at 1,476,348 m<sup>3</sup>, enough to fill the dam and meet the various needs per campaign estimated at 371,435 m<sup>3</sup>. The dike is homogeneous in clay embankment 995 m long and provided with a horizontal drain. The spillway consists of a weight weir in a central position, 35 m long. It is possible to develop 20 ha per campaign. A committee has been proposed for better management of infrastructure, the approximate overall cost of which is ***eight hundred and ninety-six million four hundred and sixty-three thousand seven hundred and fifty-six (896,463,756)*** CFA francs (including tax), taking into account the environmental and social impact management plan.

### **Key words:**

---

- 1 - Weight spillway**
- 2 - Diagnosis**
- 3 – Homogeneous dam**
- 4 - Kobre**
- 5 – Rehabilitation**

## FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE KOBRE

| Désignation                                        | Unité                              | Valeur    |
|----------------------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| I. GENERALITES ET HYDROLOGIE                       |                                    |           |
| I.1. LOCALISATION DU BARRAGE                       |                                    |           |
| Longitude                                          | 0° 3' 23,3'' / 178 964 m (UTM)     |           |
| Latitude                                           | 11° 35' 23,6'' / 1 282 865 m (UTM) |           |
| Village                                            | Kobré                              |           |
| Commune                                            | Dourtenga                          |           |
| Province                                           | Koulpélogo                         |           |
| Région                                             | Centre – Est                       |           |
| Distance par rapport à Ouagadougou                 | 235 km                             |           |
| I.2. BASSIN VERSANT                                |                                    |           |
| Superficie                                         | km <sup>2</sup>                    | 10,7      |
| Périmètre                                          | km                                 | 15,5      |
| Pente longitudinale                                | m/km                               | 8         |
| Indice global de pente                             | m/km                               | 6,3       |
| Longueur du cours d'eau principal                  | km                                 | 4,5       |
| I.3. PLUVIOMETRIE                                  |                                    |           |
| Régime climatique                                  | Zone tropicale sèche               |           |
| Pluie moyenne annuelle                             | mm                                 | 807       |
| Pluie quinquennale sèche                           | mm                                 | 688       |
| Pluie décennale sèche                              | mm                                 | 625       |
| I.4. CRUES ET APPORTS                              |                                    |           |
| Débit décennal                                     | m <sup>3</sup> /s                  | 26        |
| Débit centennal (crue du projet)                   | m <sup>3</sup> /s                  | 56        |
| Apports liquides annuel                            | m <sup>3</sup>                     | 1 476 348 |
| Apports liquides quinquennal sèche                 | m <sup>3</sup>                     | 881 389   |
| Apports liquides décennal sèche                    | m <sup>3</sup>                     | 572 608   |
| II. CARACTERISTIQUES DE LA RETENUE ET DES OUVRAGES |                                    |           |
| II.1. LA RETENUE                                   |                                    |           |
| Volume de la retenue au PEN                        | m <sup>3</sup>                     | 1 076 791 |
| Surface au plan d'eau normal                       | ha                                 | 55,2      |
| Surface au plan des hautes eaux                    | ha                                 | 70,3      |
| II.2. LA DIGUE                                     |                                    |           |
| Type et matériaux                                  | Homogène en remblai argileux       |           |
| Longueur (y compris déversoir)                     | m                                  | 1 030     |
| Côte de la crête                                   | m                                  | 290,95    |
| Hauteur maximale (sans couche de protection)       | m                                  | 7,50      |
| Largeur en crête                                   | m                                  | 4,50      |
| Pente des talus amont et aval                      | -                                  | 1V/2H     |
| Protection talus amont                             | Perré maçonné                      |           |
| Protection talus aval                              | Perré sec                          |           |
| Protection de la crête                             | Couronnement latéritique de 20 cm  |           |
| II.3. LA TRANCHEE D'ENCRAGE                        |                                    |           |
| Largeur au fond                                    | m                                  | 3,50      |
| Profondeur maximale de la prétranchée              | m                                  | 5,50      |
| Profondeur maximale de la tranchée manuelle        | m                                  | 1,50      |

| Désignation                               | Unité                            | Valeur      |
|-------------------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Largeur de la tranchée manuelle           | m                                | 1,00        |
| Pente des talus de la prétranchée         | -                                | 3V/1H       |
| II.4. LE DEVERSOIR                        |                                  |             |
| Type                                      | Poids en béton                   |             |
| Forme                                     | Trapézoïdale                     |             |
| Position                                  | Centrale                         |             |
| Longueur du seuil                         | m                                | 35          |
| Côte de calage                            | m                                | 289,00      |
| Largeur en crête                          | m                                | 1,00        |
| Angle du talus aval                       | °                                | 60          |
| Hauteur libre maximale                    | m                                | 5,00        |
| II.5. LE BASSIN DE DISSIPATION            |                                  |             |
| Type                                      | A ressaut type II (USBR)         |             |
| Largeur                                   | m                                | 3,00        |
| Profondeur                                | m                                | 1,00        |
| Dissipateur d'énergie                     | Blocs de chute et blocs chicanes |             |
| Protection aval                           | Cage de gabion et enrochement    |             |
| II.6. OUVRAGE DE PRISE ET DE VIDANGE      |                                  |             |
| Type                                      | Conduite enterrée                |             |
| Position                                  | Rive droite                      |             |
| Commande                                  | Vanne aval                       |             |
| Nature de la conduite                     | Fonte                            |             |
| Nombre                                    | Unité                            | 01          |
| Côte de calage                            | m                                | 286,00      |
| Diamètre nominal (DN)                     | mm                               | 300         |
| III. PERMIETRE AGRICOLE                   |                                  |             |
| Superficie aménageable                    | ha                               | 20          |
| Débit d'équipement                        | l/s/ha                           | 3,06        |
| Type d'irrigation                         | Gravitaire                       |             |
| Position                                  | Aval rive droite                 |             |
| Durée de la campagne agricole             | 06 mois (Novembre – Avril )      |             |
| IV. COUTS DU PROJET                       |                                  |             |
| Travaux de construction du barrage        | Francs CFA                       | 825 963 756 |
| Plan de gestion environnemental et social | Francs CFA                       | 70 500 000  |
| Cout total du projet (Barrage + PGES)     | Francs CFA                       | 896 463 756 |

## **SIGLES ET ABREVIATIONS**

|          |                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------|
| 2iE      | : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement   |
| AEN      | : Agence de l'Eau du Nakanbé                                           |
| APD      | : Avant-Projet Détaillé                                                |
| APS      | : Avant-Projet Sommaire                                                |
| BNDT     | : Base Nationale de Données Topographiques                             |
| BUNEE    | : Bureau National des Evaluations Environnementales                    |
| CIEH     | : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques                           |
| CLE      | : Comité Local de l'Eau                                                |
| CES /DRS | : Conservation des Eaux et des Sols / Défense et Restauration des Sols |
| DCE      | : Dossier de Consultation des Entreprises                              |
| DGIH     | : Direction Général des Infrastructures Hydrauliques                   |
| DGRE     | : Direction Générale des Ressources en Eau                             |
| EIER     | : Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural                 |
| FAO      | : Food and Agriculture Organization of the United Nations              |
| GIRE     | : Gestion Intégrée des Ressources en Eau                               |
| GPS      | : Global Positioning System                                            |
| IGB      | : Institut Géographique du Burkina                                     |
| INS      | : Institut National de la Statistique et de la Démographie             |
| LSB-IC   | : Laboratoire des Sols et Bétons – Ingénieur Conseil                   |
| MEA      | : Ministère de l'Eau et de l'Assainissement                            |
| NIES     | : Notice d'Impact Environnemental et Social                            |
| ONBAH    | : Office National des Barrages et des Aménagements Hydro- Agricoles    |
| ORSTOM   | : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer           |
| PCD      | : Plan Communal de Développement                                       |
| PEN      | : Plan d'Eau Normale                                                   |
| PGES     | : Plan de Gestion Environnementale et Sociale                          |
| PHE      | : Plus Hautes Eaux                                                     |
| PNAH     | : Programme Nationale des Aménagements Hydrauliques                    |
| PRD      | : Plan Régional de Développement                                       |
| RGPH     | : Recensement Général de la Population et de l'Habitat                 |
| SERAT    | : Service d'Etudes, de Réalisation et d'Assistance Technique           |
| SIG      | : Système d'Information Géographique                                   |
| TTC      | : Toute Taxe Comprise                                                  |

## **TABLE DES MATIERES**

|                                                                    |      |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| DEDICACES .....                                                    | i    |
| REMERCIEMENTS .....                                                | ii   |
| RESUME.....                                                        | iii  |
| ABSTRACT .....                                                     | iv   |
| FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE KOBRE.....                           | v    |
| SIGLES ET ABREVIATIONS .....                                       | vii  |
| TABLE DES MATIERES .....                                           | viii |
| LISTE DES TABLEAUX .....                                           | xi   |
| LISTE DES FIGURES .....                                            | xii  |
| LISTE DES GRAPHIQUES .....                                         | xii  |
| LISTE DES PHOTOS .....                                             | xii  |
| INTRODUCTION.....                                                  | 1    |
| 1. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....                                       | 2    |
| 1.1. Objectif général .....                                        | 2    |
| 1.2. Objectifs spécifiques .....                                   | 2    |
| 2. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE... | 3    |
| 2.1. La structure d'accueil .....                                  | 3    |
| 2.1.1. Raison sociale.....                                         | 3    |
| 2.1.2. Vision stratégique et mission .....                         | 3    |
| 2.1.3. Domaines d'intervention .....                               | 3    |
| 2.2. La zone d'étude .....                                         | 4    |
| 2.2.1. Localisation géographique .....                             | 4    |
| 2.2.2. Milieu humain .....                                         | 5    |
| 2.2.3. Milieu physique et naturel.....                             | 6    |
| 3. MATERIELS ET METHODES .....                                     | 9    |
| 3.1. Matériels.....                                                | 9    |
| 3.2. Méthodes .....                                                | 9    |
| 3.2.1. Etude diagnostique .....                                    | 9    |
| 3.2.1. Etudes topographique et géotechnique.....                   | 9    |
| 3.2.2. Etude pluviométrique .....                                  | 10   |

|        |                                                                         |    |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.3. | Etude hydrologique .....                                                | 11 |
| 3.2.4. | Conception et dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes ..... | 21 |
| 3.2.5. | Impact environnemental et social.....                                   | 26 |
| 3.2.6. | Etude financière.....                                                   | 27 |
| 4.     | RESULTATS ET DISCUSSIONS .....                                          | 28 |
| 4.1.   | Synthèse des études de base .....                                       | 28 |
| 4.1.1. | Diagnostic du barrage existant .....                                    | 28 |
| 4.1.2. | Etude socio-économique .....                                            | 30 |
| 4.1.3. | Etude géotechnique et géophysique .....                                 | 32 |
| 4.2.   | Choix du site du nouveau barrage .....                                  | 34 |
| 4.3.   | Etude topographique .....                                               | 35 |
| 4.4.   | Etude pluviométrique .....                                              | 36 |
| 4.4.1. | Vérification de l'homogénéité de la série .....                         | 36 |
| 4.4.2. | Caractéristiques de l'échantillon .....                                 | 38 |
| 4.4.3. | Résultats de l'analyse fréquentielle.....                               | 38 |
| 4.5.   | Etude hydrologique .....                                                | 39 |
| 4.5.1. | Caractéristiques du bassin versant.....                                 | 39 |
| 4.5.2. | Estimation de la crue du projet.....                                    | 40 |
| 4.5.3. | Hydrogramme de crue .....                                               | 42 |
| 4.5.4. | Apports liquides du bassin versant.....                                 | 43 |
| 4.5.5. | Etude de la cuvette du barrage .....                                    | 44 |
| 4.6.   | Conception et dimensionnement des ouvrages .....                        | 47 |
| 4.6.1. | La digue.....                                                           | 47 |
| 4.6.2. | L'évacuateur de crue .....                                              | 49 |
| 4.6.3. | L'ouvrage de prise et de vidange .....                                  | 52 |
| 4.7.   | Impact environnemental et social du projet .....                        | 52 |
| 4.7.1. | Analyse de l'état initial du site.....                                  | 52 |

|                                                                   |                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------|
| 4.7.2.                                                            | Indentification des impacts.....                | 53         |
| 4.7.3.                                                            | Plan de gestion environnemental et social ..... | 54         |
| 4.8.                                                              | Gestion durable des ouvrages.....               | 55         |
| 4.8.1.                                                            | Proposition d'un schéma d'organisation .....    | 55         |
| 4.8.2.                                                            | Dispositif de suivi.....                        | 56         |
| 4.8.3.                                                            | Dispositif de surveillance .....                | 57         |
| 4.8.4.                                                            | Techniques d'entretien courant .....            | 57         |
| 4.9.                                                              | Etude financière.....                           | 58         |
| CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....                               |                                                 | 59         |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                               |                                                 | 60         |
| ANNEXES .....                                                     |                                                 | 61         |
| <b>Annexe 1 : Organigramme de SERAT .....</b>                     |                                                 | <b>63</b>  |
| <b>Annexe 2 : Etude topographique.....</b>                        |                                                 | <b>64</b>  |
| <b>Annexe 3 : Etude géotechnique .....</b>                        |                                                 | <b>68</b>  |
| <b>Annexe 4 : Etude pluviométriques .....</b>                     |                                                 | <b>70</b>  |
| <b>Annexe 5 : Etude hydrologique .....</b>                        |                                                 | <b>75</b>  |
| <b>Annexe 6 : Etude de la digue .....</b>                         |                                                 | <b>89</b>  |
| <b>Annexe 7 : Etude du déversoir .....</b>                        |                                                 | <b>93</b>  |
| <b>Annexe 8 : Etude du bassin de dissipation .....</b>            |                                                 | <b>99</b>  |
| <b>Annexe 9 : Etude des murs bajoyers.....</b>                    |                                                 | <b>103</b> |
| <b>Annexe 10 : Etude de l'ouvrage de prise et de vidange.....</b> |                                                 | <b>106</b> |
| <b>Annexe 11 : Impact environnemental et social .....</b>         |                                                 | <b>110</b> |
| <b>Annexe 12 : Métré et Devis estimatif .....</b>                 |                                                 | <b>120</b> |
| <b>Annexe 13 : Pièces graphiques .....</b>                        |                                                 | <b>126</b> |

## **LISTE DES TABLEAUX**

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Calcul de Kr10 en fonction de la géologie et de la précipitation annuelle..... | 14 |
| Tableau 2: Valeurs indicatives de talus de digue stable.....                               | 21 |
| Tableau 3: Production moyenne annuelle (en tonnes ) de céréales de Kobre.....              | 31 |
| Tableau 4 : Effectif du cheptel en 2017 de la zone du projet.....                          | 31 |
| Tableau 5: Analyse des options pour le choix du site du barrage .....                      | 34 |
| Tableau 6 : Caractéristique de l'échantillon de la pluie.....                              | 38 |
| Tableau 7 : Synthèse des résultats de l'analyse fréquentielle .....                        | 38 |
| Tableau 8 : Synthèse des caractéristiques du bassin versant.....                           | 40 |
| Tableau 9: Synthèse des résultats de calcul de la crue décennale .....                     | 40 |
| Tableau 10: Synthèse des résultats de la crue du projet .....                              | 41 |
| Tableau 11 : Résumé d'étude comparative de la crue du projet .....                         | 42 |
| Tableau 12 : Apports liquides du bassin versant.....                                       | 43 |
| Tableau 13 : Synthèse des besoins en eau .....                                             | 44 |
| Tableau 14 : Pertes par infiltration et évaporation au niveau de la cuvette.....           | 44 |
| Tableau 15 : Pertes par dépôts solides au fond de la cuvette .....                         | 44 |
| Tableau 16 : Résultats des volumes après simulation .....                                  | 46 |
| Tableau 17 : Résultats des côtes des ouvrages après simulation.....                        | 46 |
| Tableau 18 : Synthèse des résultats de la digue .....                                      | 47 |
| Tableau 19 : Synthèse des résultats de calcul du déversoir.....                            | 49 |
| Tableau 20 : Caractéristiques du bassin de dissipation .....                               | 50 |
| Tableau 21 : Synthèse de dimensionnement des murs bajoyers .....                           | 51 |
| Tableau 22 : Synthèse des impacts potentiels du projet.....                                | 53 |
| Tableau 23 : Synthèse du devis estimatif de la reconstruction du barrage .....             | 58 |

## **LISTE DES FIGURES**

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Carte administrative de la commune rurale de Dourtega ..... | 4  |
| Figure 2: Géomorphologie de la commune de Dourtega .....              | 6  |
| Figure 3 : Carte des sols de la commune de Dourtega .....             | 7  |
| Figure 4 : Hydrographie de la commune de Dourtega .....               | 8  |
| Figure 5 : Topographie de la cuvette du barrage de Kobre .....        | 36 |
| Figure 6 : Double cumul de la pluie journalière maximale.....         | 37 |
| Figure 7 : Double cumul de la pluie moyenne annuelle.....             | 37 |
| Figure 8 : Bassin versant du barrage de Kobre .....                   | 39 |
| Figure 9 : Profil type de la digue au niveau du lit mineur.....       | 48 |
| Figure 10 : Profil type de la digue en dehors du lit mineur.....      | 48 |
| Figure 11 : Coupe transversal de l'évacuateur de crue .....           | 51 |

## **LISTE DES GRAPHIQUES**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Graphique 1 : Courbes hauteur – volume et hauteur - surface..... | 35 |
| Graphique 2 : Hydrogramme schématique des crues.....             | 43 |
| Graphique 3 : Simulation de l'exploitation de la retenue.....    | 45 |

## **LISTE DES PHOTOS**

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Photo 1: Digue envahie par les arbres .....                                        | 28 |
| Photo 2 : Dégradation du pied de la digue .....                                    | 28 |
| Photo 3 : Evacuateur de crue détruit .....                                         | 29 |
| Photo 4: Etat actuel du chenal .....                                               | 29 |
| Photo 5 : Labour dans la cuvette du barrage pour la mise en place de culture ..... | 30 |

## **INTRODUCTION**

---

Le Burkina Faso est un pays enclavé au cœur de l'Afrique de l'ouest dont l'économie repose essentiellement sur l'agriculture qui occupe plus de 80% de la population active [1]. Les performances du secteur sont impactées entre autres par sa forte dépendance aux aléas climatiques, devenus de plus en plus aléatoire et surtout inégalement répartie dans le temps et dans l'espace.

En raison de cette dépendance, les différentes politiques de développement ont mis l'accent sur la maîtrise de l'eau en vue de développer l'irrigation. C'est ainsi qu'un nombre important d'ouvrage de retenue d'eau a été réalisé à travers le pays depuis les années 1970. Les barrages ont, depuis lors, joué un rôle important dans la sécurité alimentaire et la lutte contre les déplacements des populations. Cependant, un constat fait en 2011 par la Direction Générale des Ressources en Eau a montré que plus de 40% des barrages présentent un état de dégradation à différents niveaux, allant de faible dégradations pour certains à des ruptures totales de digue pour d'autres. Dans un contexte où la ressource en eau se fait de plus en plus rare, il est nécessaire de mener des actions afin de garantir la disponibilité de l'eau pour les besoins des populations.

En réponse à cette problématique, le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA) à travers le Programme National des Aménagements Hydrauliques (PNAH) envisage à l'horizon 2030, intensifier la mobilisation des ressources en eau à travers la construction de nouveaux barrages et la réhabilitation des barrages dégradés. La mise en œuvre du PNAH est assurée par la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH) qui, dans son plan d'action, a lancé en 2019 des études pour la réhabilitation et la réalisation de 19 barrages parmi lesquels figure le barrage de Kobre dans la commune de Dourtenga.

Le barrage de Kobre a été réalisé en 1985 et s'est dégradé au fil du temps jusqu'à 2010, année au cours de laquelle le déversoir a complètement cédé. Les études pour la réhabilitation ou éventuellement la reconstruction ont été confiées au bureau d'études Société d'Etudes, de Réalisation et d'Assistance Techniques (SERAT) dans laquelle nous avons effectué notre stage. Notre contribution en tant que stagiaire est de faire des propositions techniques en rapport avec les termes de référence de l'étude.

## **1. OBJECTIFS DE L'ETUDE**

---

### **1.1. Objectif général**

L'objectif général est de proposer une étude technique en vue de la réhabilitation ou la reconstruction du barrage de Kobre dans la commune de Dourtenga.

### **1.2. Objectifs spécifiques**

De façon spécifique, il s'est agi de :

- choisir un site pour la reconstruction du barrage ;
- proposer la conception et le dimensionnement des ouvrages ;
- évaluer l'impact environnemental et social et proposer un plan de gestion adéquat ;
- faire une estimation sommaire du cout du projet ;
- proposer un mode de gestion des infrastructures.

## **2. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE**

### **2.1. La structure d'accueil**

#### **2.1.1. Raison sociale**

La Société d'Etudes, de Réalisation et d'Assistance Techniques (SERAT) est un bureau d'étude privé de droit burkinabè, créée en 2006 dans un contexte marqué par la raréfaction des ressources financières et la délégation de certains secteurs par l'Etat à l'expertise privée. SERAT intervient dans la réalisation des différentes études (APS, APD, DCE, etc.), le suivi-évaluation des projets de développement, le contrôle et l'assistance technique ainsi que la formation. SERAT, c'est aussi une équipe compétente composée d'ingénieurs, de techniciens dans divers domaines et du personnel de soutien reparti en département et division (voir organigramme en ANNEXE 1).

#### **2.1.2. Vision stratégique et mission**

- La vision stratégique de SERAT est d'« Etre une société d'ingénierie d'excellence, offrant des prestations de qualité en matière d'études, de conseil et d'assistance technique au client ».
- SERAT s'est assignée pour mission de « Contribuer activement à l'émergence d'un développement durable au Burkina Faso et en Afrique en apportant son expertise dans ses domaines d'intervention ».

#### **2.1.3. Domaines d'intervention**

Les principaux domaines de compétences de SERAT sont :

- **Approvisionnement en eau potable, assainissement et environnement :** Adduction, traitement, transport et distribution d'eau potable, hydraulique villageoise, collecte et traitement des eaux usées et excréta, collecte et traitement des boues de vidange, drainage des eaux pluviales.
- **Mobilisation des ressources en eau et aménagements hydro-agricole :** Gestion intégrée des ressources en eau, aménagements de bas-fonds, aménagements de cours d'eau et des lacs, irrigation et construction de barrage.
- **Génie civil et hydrauliques :** Routes, pistes rurales, ouvrages d'art, assainissement, bâtiment, construction métallique et infrastructures pastorales.

## 2.2. La zone d tude

### 2.2.1. Localisation géographique

La commune de Dourtenga est l'une des huit communes de la province du Koulp logo, de la région du Centre-Est. Elle a une superficie de 112,77 km<sup>2</sup> et fait frontière avec quatre communes dont la commune de Lalgaye au Nord et à l'Ouest ; celle de Komin-Yanga au Nord-Est ; la commune de Yongo à l'Est et enfin la commune de Ouargaye au Sud. La localité de Dourtenga, chef-lieu de la commune, est située à 10 km de Ouargaye chef-lieu de la province du Koulp logo et à 50 km de Tenkodogo, chef-lieu de la région du Centre-Est. Elle est accessible à partir de Tenkodogo par la route nationale N 17 (Tenkodogo-Ouargaye). Le village de Kobr  qui abrite le site du projet est situé à 5 km au Sud-Est de Dourtenga, chef-lieu de la commune. Les coordonnées prises au niveau de la digue actuelle du barrage sont :

- Longitude : 0 03'1,34'' Est X (UTM) = 178 292,00 m
- Latitude : 11 35,6'6,86'' Nord Y (UTM) = 1 282 355,00 m

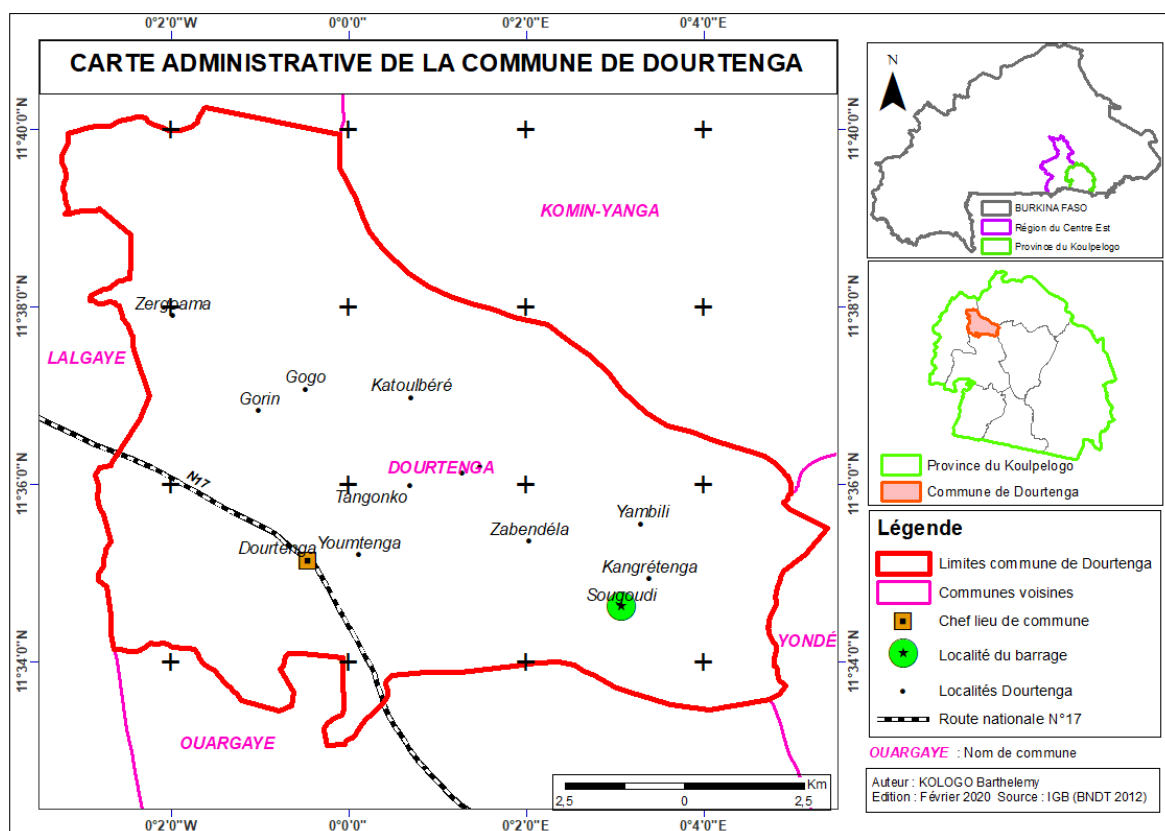


Figure 1: Carte administrative de la commune rurale de Dourtenga

## **2.2.2. Milieu humain**

### **2.2.2.1. Démographie**

La population de la commune de Dourtenga était estimée à 9 517 habitants selon le dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH<sup>1</sup>) de 2006 et représentait 4% de la population provinciale et 1% de la population régionale. La répartition de la population par sexe fait ressortir que le sexe féminin représente 52,74% et le sexe masculin 47,26%. La densité moyenne de la commune est de 84,39 habitants au km<sup>2</sup> ; ce qui pose le problème de la disponibilité des terres agricoles. Les projections de l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD) montrent que la population communale pourrait atteindre 36 909 habitants en 2050, soit un taux d'accroissement local de 3,09% par rapport à la moyenne nationale qui est de 3,10% [1].

### **2.2.2.2. Mouvement de la population**

Il n'existe pas de statistiques officielles sur la migration au niveau des localités concernées par le projet. Toutefois, il ressort des échanges avec la population lors de l'étude socio-économique que les villages font face à un exode de plus en plus important des jeunes (filles comme garçon) vers les centres urbains (Tenkodogo, Fada N'gourma, Ouagadougou, etc.). La situation est surtout vécue à la fin de la saison des pluies où le manque d'occupation pousse naturellement les bras valides à trouver des emplois saisonniers. En outre, la proximité de la commune des frontières avec le Togo et le Ghana prédispose les jeunes à une migration internationale. Les principaux motifs de ces mouvements résident, selon les informations, au manque de moyen pouvant permettre les jeunes à s'installer à leurs comptes, le manque d'occupation pendant la saison sèche qui dure entre 6 à 8 mois. A cela s'ajoute le problème d'insécurité dans la région.

---

<sup>1</sup> RGPH : Un nouveau recensement est en cours en 2020 et la publication des résultats permettra d'actualiser les statistiques nationales en matière de démographie

## 2.2.3. Milieu physique et naturel

### 2.2.3.1. Régime climatique

La commune de Dourtenga appartient au climat Nord Soudanien selon le découpage biogéographique du Burkina Faso proposé par GUINKO [2]. Cette zone se caractérise par une saison pluvieuse qui dure de Mai   Septembre et une saison sèche d'Octobre en Avril. La température moyenne annuelle est de 28  C. La pluviométrie moyenne se situe globalement entre les isohyètes 750 et 1200 mm [2].   l'âge de la région du Centre-Est, la commune de Dourtenga jouit d'une bonne pluviométrie.

### 2.2.3.2. Géologie, relief et géomorphologie

La géologie de la commune est essentiellement constituée de socle à l'âge de celle de la région du Centre-Est. Le relief est assez plat et peu accident  avec de petites  levations. On y retrouve des glacs des milieux cuirassés et quelquefois des milieux granitiques. C'est donc une zone à prédominance de plaine composée de trois ensemble à savoir les plateaux, les plaines et les zones de bas fond [3]. La morphologie du relief est marquée par un vaste plateau dans son ensemble comme le montre la [Figure 2](#).

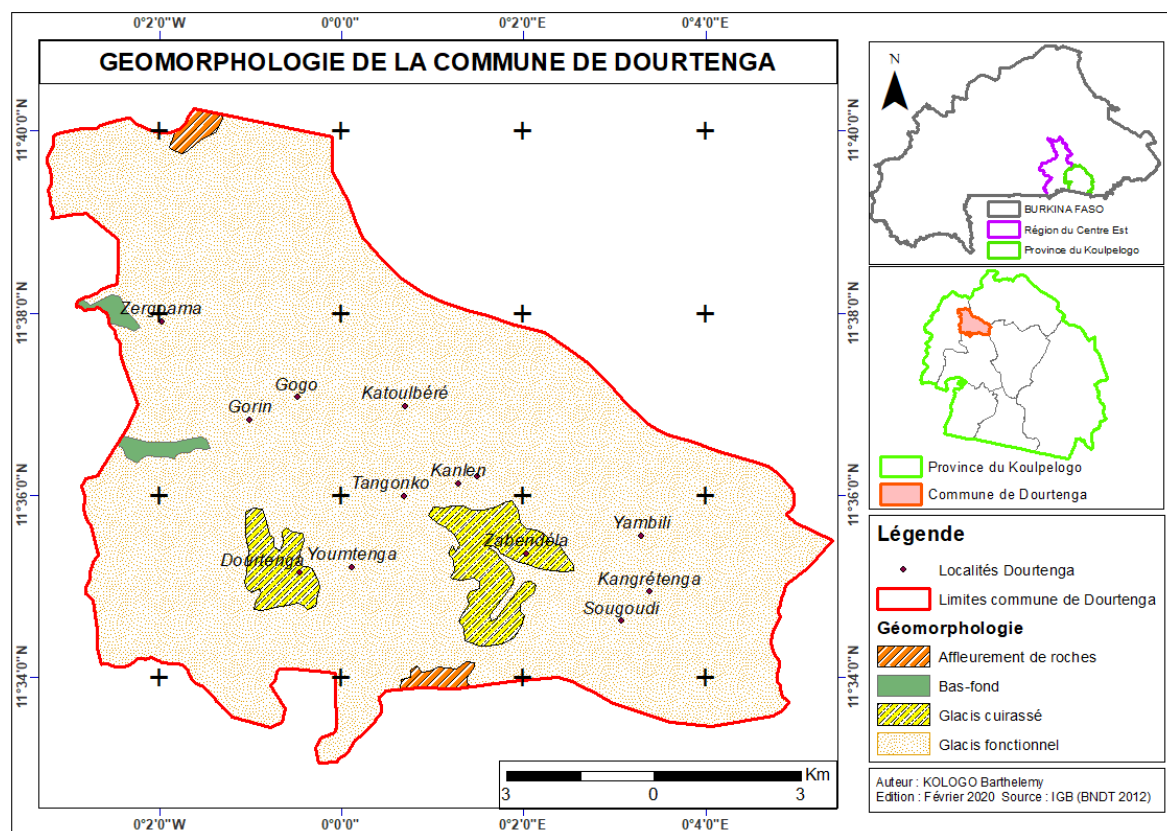


Figure 2: Géomorphologie de la commune de Dourtenga

### 2.2.3.3. Végétation

La végétation de la commune est essentiellement composée d'une strate supérieure constituée d'*Adansonia digitata* (Baobab), *Khaya senegalensis* (Cailcédrat), *Parkia biglobosa* (Néré), le *Vitellaria paradoxa* (Karité). La strate moyenne se compose de petits arbres et arbustes comme le *Lannea microcarapa* (Raisinier) et le *Tamarindus indica* (Tamarinier). Le plus bas niveau est constitué d'une strate herbacée qui se dessèche après l'hivernage [2]. On retrouve des galeries forestières le long des cours d'eau.

### 2.2.3.4. Sols

Sur le plan pédologique, on rencontre cinq type de sol (Figure 3) regroupés principalement en trois grands groupes que sont (i) les sols lessivés ou appauvris constitués de matériaux sableux en association avec des sols gravillonnaires issus des roches basiques lessivées ayant de faibles aptitudes agronomiques ; (ii) les sols bruns eutrophes de type argileux-sableux en association à des vertisols et présentent des aptitudes agronomiques intéressantes et enfin (iii) les sols d'érosion constitués de matériaux argileux sableux et présentent de bonnes aptitudes agronomiques.

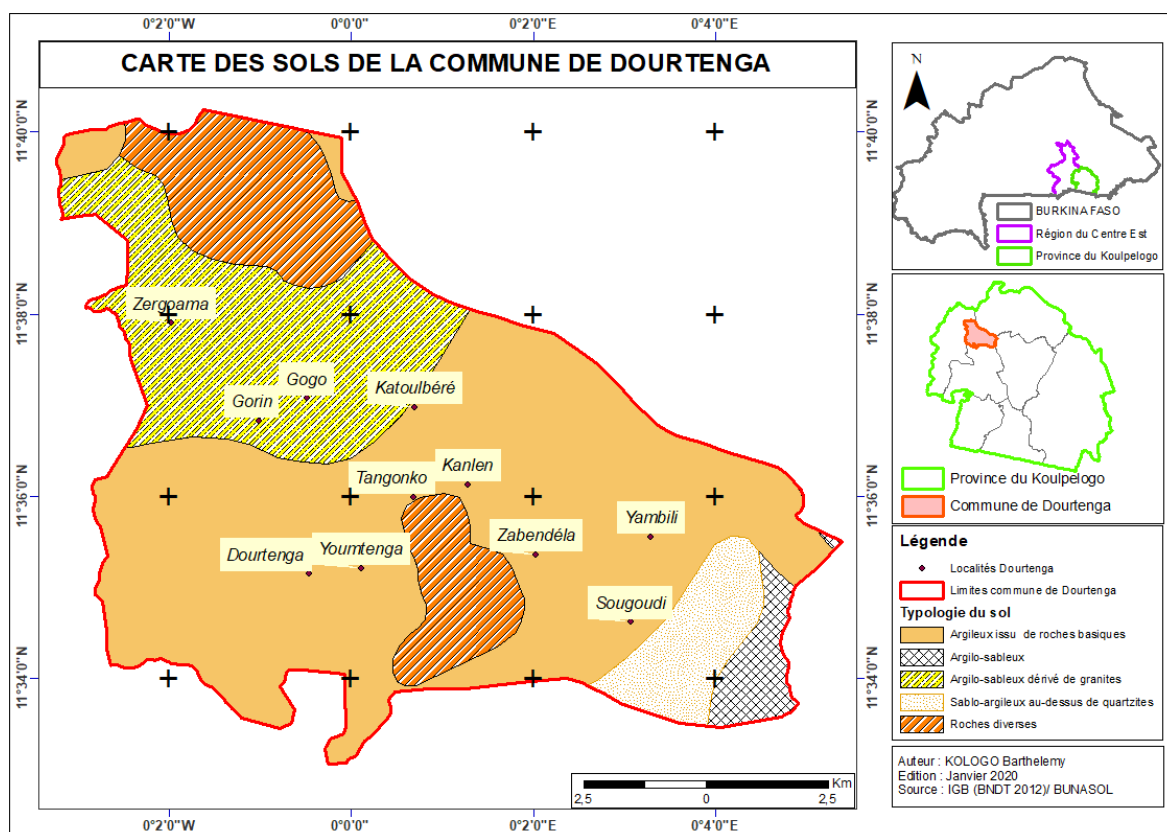


Figure 3 : Carte des sols de la commune de Dourtenga



### **3. MATERIELS ET METHODES**

---

#### **3.1. Matériels**

Un ensemble d'outil et de matériel a été utilisé au cours de ce travail. Il s'agit entre autre de :

- Un GPS et l'application Google earth Pro : pour les coordonnées géographiques ;
- HyfranPlus : pour la vérification de l'analyse fréquentielle ;
- ArcGis 10.5 : pour la détermination des caractéristiques physiques du bassin versant et la production des cartes ;
- CYPE 2014 : pour la vérification et le dimensionnement des murs bajoyers ;
- GéoSlope 2012 : pour la vérification de la stabilité des talus de la digue ;
- AutoCAD 2017 : pour la production des pièces graphiques ;
- CLIMWAT 2.0 et CROPWAT : pour la détermination des paramètres culturaux ;
- Pack office 2016 : pour les notes de calcul et la rédaction du rapport.

En outre, il a été nécessaire de disposer de certaines données parmi lesquelles :

- Les données pluviométriques des stations de Tenkodogo et de Fada N'gourma ;
- Des images satellitaires sous forme de model numérique de terrain de la zone d'étude accessible gratuitement en ligne à l'adresse [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov)

#### **3.2. Méthodes**

##### **3.2.1. Etude diagnostique**

Des données ont été collectées lors de la remise du site au bureau d'étude par le maitre d'ouvrage et durant la mission de reconnaissance. Elles ont ensuite été utilisées pour le diagnostic du barrage et mise à notre disposition.

##### **3.2.1. Etudes topographique et géotechnique**

Le plan topographique réalisé à l'échelle 1/2500<sup>ème</sup> fait ressortir l'emplacement des bornes repères, les courbes de niveau de la superficie sur une emprise d'environ 150 ha. Ces données ont servi à l'étude de l'emplacement de la digue, la cuvette ainsi que le calage des différentes côtes des ouvrages.

Les investigations géotechniques ont été menées par le bureau d'études Laboratoire des Sols et Bétons (LSB-IC). Cette investigation a fourni les informations géotechniques sur les matériaux, la cuvette et le sol de fondation de la digue. Ces données ont été essentielles pour la conception et le dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes.

### **3.2.2. Etude pluviométrique**

#### **3.2.2.1. Station climatique et série de données**

Il a été mis à notre disposition les données des stations météorologiques de Tenkodogo et de Fada N'gourma pour la période 1970 – 2017, soit 48 années d'observation. Les deux stations sont situées dans le même régime climatique à savoir le climat tropical sec.

#### **3.2.2.2. Vérification de l'homogénéité de la série**

Quelle que soit la façon dont les données sont obtenues, il y a toujours des risques de rencontrer des valeurs erronées. Ces erreurs peuvent être systématiques ou accidentelles. Après vérification, il a été constaté la présence de données manquantes qui ont été reconstituées en se basant sur la corrélation existante entre la station de Tenkodogo et celle de Fada N'gourma. Ensuite, la méthode de la moyenne mobile a été utilisée pour amortir les variations brusques, éliminer les valeurs extrêmes et laminer l'ensemble des valeurs pour faire apparaître des tendances longues ou des cycles. Enfin, la méthode des doubles cumuls a été utilisée pour confirmer ou infirmer la présence ou pas de période douteuses.

#### **3.2.2.3. Caractéristiques de l'échantillon**

Les grandeurs étudiées en hydrologie peuvent être considérées d'un point de vue mathématique comme des variables aléatoires. Les principales caractéristiques de l'échantillon sont : la moyenne, l'écart type et le coefficient de variation. Ils sont obtenus comme suit :

|                                                        |                                                       |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$                       | • $\bar{x}$ [mm]: Moyenne arithmétique de la série    |
| $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}$ | • $\sigma$ [mm] : Ecart type de la série              |
| $CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$                          | • CV [%]: Coefficient de variation                    |
|                                                        | • $n$ [Unité] : Nombre d'observation                  |
|                                                        | • $x_i$ : Un individu (pluie annuelle ou journalière) |

### 3.2.2.4. Lois et courbes de fréquences cumulées

Les séries de données ont été ajustées à des lois de distribution couramment utilisées. Il s'agit de la loi de GAUSS pour les pluies moyennes annuelles et la loi de GUMBEL pour les pluies maximales journalières. Quant à la fréquence expérimentale au non dépassement associée aux éléments de chaque échantillon, la distribution de HAZEN a été utilisée pour la loi de GAUSS et la distribution de WEIBULL pour la loi de GUMBEL. Elles se présentent comme suit :

| Loi    | Fonction de répartition                                                                                               | Paramètre de la loi                                                                                                                                                                                           |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GAUSS  | $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{\left(\frac{-u^2}{2}\right)} du ;$ $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>u</math> : variable réduite de Gauss</li> <li>• <math>\bar{x}</math> et <math>\sigma</math> : respectivement la moyenne et l'écart type de la serie</li> </ul> |
| GUMBEL | $F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}}$                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>x_0</math> : Paramètre de position</li> <li>• <math>a</math> : Paramètre d'échelle</li> </ul>                                                                  |

| Loi de distribution | Fréquence expérimentale | Paramètre de la loi                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HAZEN               | $f = \frac{r - 0,5}{n}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>f</math> : fréquence expérimentale au non dépassement</li> <li>• <math>r</math> : Rang de l'individu dans la classification croissante</li> <li>• <math>n</math> : nombre d'observation</li> </ul> |
| WEIBULL             | $f = \frac{r}{n + 1}$   |                                                                                                                                                                                                                                                   |

### 3.2.3. Etude hydrologique

#### 3.2.3.1. Identification du régime climatique associé à la zone du projet

L'étude hydrologique est entièrement basée sur des méthodes dont la validité est liée à une bonne définition de la zone climatique. Ainsi, notre zone d'étude est située entre **0°0'** et **0°4'** de **longitude Est**, et entre **11°34'** et **11°37'** de **latitude Nord**. Par ailleurs, la pluie moyenne annuelle est de 807 mm. Par conséquent, le régime climatique associé à ces deux paramètres est le **régime tropical sec** [5]. La suite de l'étude hydrologique est conforme à la démarche proposée par les différentes méthodes en régime tropical sec selon le manuel de la FAO [5].

### 3.2.3.2. Caractéristiques du bassin versant

#### ▪ Surface (S) et périmètre (P)

Le bassin versant est caractérisé par son exutoire, à partir duquel il est le délimité [6]. Nous avons, à l'aide du logiciel ArcGis 10.5, procédé à l'analyse du modèle numérique de terrain pour avoir les caractéristiques du bassin ainsi que les autres paramètres morphologiques.

#### ▪ Indice de compacité (KG) et longueur du rectangle équivalent (L)

L'indice de compacité permet d'apprécier la forme du bassin versant. Quant à la longueur du rectangle équivalent (L), c'est un rectangle ayant la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin versant étudié.

Les deux paramètres ont été obtenus par les expressions suivantes :

|                                         |                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $K_G = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{S}}$ |                                                                                                                                                                                                                                |
| avec                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S [km<sup>2</sup>] : la surface du bassin versant</li> <li>• P [km] : le périmètre du bassin versant</li> </ul>                                                                       |
| Interprétation                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• K<sub>G</sub> = 1 : Bassin versant circulaire</li> <li>• 1 &lt; K<sub>G</sub> &lt; 1,3 : Bassin versant compact</li> <li>• K<sub>G</sub> &gt; 1,3 : Bassin versant allongé</li> </ul> |
| $L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4}$    |                                                                                                                                                                                                                                |
|                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• L [km] : la longueur du rectangle équivalent</li> </ul>                                                                                                                               |

#### ▪ Pente longitudinale moyenne du bassin versant (I)

La pente longitudinale moyenne du bassin versant a été calculée comme suit :

|                            |                                                                                                                                                                   |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $I = \frac{\Delta H}{L_c}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ΔH [m] : dénivelé maximal du bassin versant</li> <li>• L<sub>c</sub> [km] : longueur du cours d'eau principal</li> </ul> |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### ▪ Indice global de pente (Ig)

L'indice global de pente caractérise le relief du bassin versant. Il influe sur les débits de crues selon que la pente soit forte ou faible. Lorsque la valeur moyenne des pentes transversale est supérieure à 20% de la pente longitudinale, il est nécessaire de corriger l'indice global de pente. Les formules sont les suivantes :

|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_g</math> [m/km] : Indice global de pente</li> <li>• <math>H_{5\%}</math> [m] : Altitude à 5% de la surface du bassin</li> <li>• <math>H_{95\%}</math> [m] : Altitude à 95% de la surface du bassin</li> <li>• <math>L</math> [km] : Longueur du rectangle équivalent</li> </ul>                                                                               |
| $I_{g_{cor}} = \frac{(n - 1)I_g + I_t}{n}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_{g_{cor}}</math> [m/km] : Indice global de pente corrigé</li> <li>• <math>n = 2</math> pour <math>L &lt; 5</math> km,</li> <li>• <math>n = 3</math> pour <math>5 \text{ km} &lt; L &lt; 25</math> km,</li> <li>• <math>n = 4</math> pour <math>25 \text{ km} &lt; L &lt; 50</math> km</li> <li>• <math>n = 6</math> pour <math>L &gt; 50</math> km</li> </ul> |

#### ▪ Dénivelé spécifique ( $D_s$ )

Le dénivelé spécifique est fonction de l'indice globale de pente et la superficie du bassin versant. Elle s'obtient comme suit :

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $D_s = I_g \times \sqrt{S}$    | <p>Avec</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>D_s</math> [m] : dénivelé spécifique</li> <li>• <math>I_g</math> [m/km] : longueur du cours d'eau élémentaire</li> </ul>                                                                                                                                    |
| <p><b>Interprétation :</b></p> | <p>Selon la valeur de <math>D_s</math>, on distingue trois types de relief à savoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>D_s &lt; 50</math> m : Relief faible</li> <li>• <math>50 \text{ m} &lt; D_s &lt; 100</math> m : Relief modéré</li> <li>• <math>D_s &gt; 100</math> m : Relief fort</li> </ul> |

#### 3.2.3.3. Prédétermination de la crue de projet

Le cours d'eau sur lequel est érigé le barrage ne dispose pas d'instrument de mesure de débits. Nous avons donc un bassin versant non jaugé pour lequel la détermination des débits de crue a été faite à travers les approches couramment utilisées notamment la méthode de ORSTOM de AUVRAY et RODIER et celle de régression linéaire de PUECH et CHABBI ou méthode CIEH. L'approche détaillée de ces méthodes est décrite dans le bulletin 54 du manuel de la FAO [5].

▪ **Les paramètres de calcul de la crue décennale**

• **Coefficient d'abattement (A)**

La précipitation moyenne sur le bassin versant est obtenue en multipliant la valeur de la pluie ponctuelle par le coefficient d'abattement spatial obtenu par l'équation simplifiée de VUILLAUME (1974). Le coefficient d'abattement a été obtenu comme suit :

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

- A : coefficient d'abattement
- $\overline{P_{an}}$  [mm] : Pluie moyenne annuelle du bassin
- S [km<sup>2</sup>] : Superficie du bassin versant

• **Coefficient de ruissellement ( $K_{r10}$ ) par la méthode ORSTOM**

Pour une précipitation décennale ( $P_{10}$ ) différente de 70 mm et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissellement est faite par interpolation linéaire entre les valeurs  $K_{r70}$  pour  $P_{10}=70$  mm et  $K_{r100}$  pour  $P_{10}=100$  mm. Ces valeurs peuvent être obtenues graphiquement à l'aide de courbes empiriques ou à partir de formules analytiques de la forme générale :

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

Les variables **a**, **b** et **c** sont lues sur des abaques en fonction de la zone climatique, la taille du bassin versant, la classe d'infiltrabilité et l'indice de pente.

• **Coefficient de ruissellement ( $K_{r10}$ ) par la méthode CIEH**

Elle est basée sur l'utilisation des résultats des régressions obtenues sur la base du substrat géologique et de la précipitation annuelle [5]. Cependant, les auteurs du manuel de la FAO indiquent que cette méthode est à utiliser avec réserve en raison des incertitudes liées à la faiblesse du coefficient de corrélation. En effet, la corrélation varie entre 36,1% (Grès) à 66,1% (granites + gneiss).

**Tableau 1** : Calcul de  $K_{r10}$  en fonction de la géologie et de la précipitation annuelle

| Catégorie               | Coefficient de corrélation (%) | Formulation ( $K_i$ )         | $K_{r10} = \sum_{i=1}^n aiKi$<br><b>ai</b> la proportion du sol de catégorie i par rapport à la superficie totale du bassin versant et <b>Ki</b> son coefficient |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Granite + gneiss</b> | 66,1                           | $K_{r10} = 2300.Pan^{-0,67}$  |                                                                                                                                                                  |
| <b>Sables</b>           | 60,2                           | $K_{r10} = 2.10^7.Pan^{-2,2}$ |                                                                                                                                                                  |
| <b>Argiles</b>          | 37,6                           | $K_{r10} = 300.Pan^{-0,3}$    |                                                                                                                                                                  |
| <b>Schistes</b>         | 37,0                           | $K_{r10} = 370.Pan^{-0,375}$  |                                                                                                                                                                  |
| <b>Grès</b>             | 36,1                           | $K_{r10} = 300.Pan^{-0,375}$  |                                                                                                                                                                  |

• **Temps de base ( $T_{b10}$ ) et temps de montée ( $T_{m10}$ ) de la pluie décennale**

Le temps de base est l'intervalle de temps entre le début et la fin de l'écoulement de surface produite par la pluie décennale [6]. En zone tropicale sèche, la formule ci-après permet de déterminer le temps de base de la crue décennale en fonction de l'indice de pente [5].

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_{b10} = a * S^{0,36} + b$ | Les paramètres <b>a</b> et <b>b</b> varient en fonction de la pente (Ig) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ig = 1 → a = 560 et b = 400</li> <li>• Ig = 3 → a = 325 et b = 315</li> <li>• Ig = 7 → a = 163 et b = 142</li> <li>• Ig = 10 → a = 95 et b = 8</li> </ul> |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Dans la zone tropicale sèche, en absence de particularités physiographiques, l'on peut considérer que le temps de montée représente le tiers du temps de base [5].

$$T_{m10} = 0,33 * T_{b10}$$

▪ **Calcul de la Crue décennale par la méthode ORSTOM**

La crue décennale par la méthode de ORSTOM s'obtient par l'expression suivante :

|                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_{10} = m * Q_{r10}$                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• m : coefficient de majoration</li> <li>• <math>Q_{r10}</math> : débit de ruissellement décennal.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $Q_{r10} = A * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A : coefficient d'abattement</li> <li>• <math>P_{10}</math> [mm] : pluie journalière décennale</li> <li>• <math>K_{r10}</math> : coefficient de ruissellement décennal</li> <li>• <math>\alpha_{10}</math> : Coefficient de pointe de la crue décennale</li> <li>• <math>T_{b10}</math> [h] : temps de base</li> <li>• S [km<sup>2</sup>] : superficie du bassin versant</li> </ul> |

▪ **Calcul de la Crue décennale par la méthode CIEH**

C'est une méthode qui suit une approche statistique proposée par PUECH et CHABI-GONNI à partir de l'étude de 162 bassins versants expérimentaux [5]. La formule générale est basée sur la régression multiple des différents paramètres qui influencent l'écoulement. Elle se présente comme suit :

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

- S [Km<sup>2</sup>] : la surface du bassin versant ;
- Pan [mm] : la pluie annuelle moyenne ;
- Ig [m/km] : l'indice global de pente ;
- Kr10 [%] : le coefficient de ruissellement décennal ;
- s, p, i, k et d sont des coefficients d'ajustement

#### ▪ Détermination de la crue du projet

Elle a été évaluée selon la méthode du GRADEX qui suppose qu'au-delà d'une certaine période de retour, tout ce qui tombe ruissèle. Pour le passage de la crue décennale à la crue centennale, nous avons utilisé la relation linéaire proposée par cette méthode.

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

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

- avec
- Q<sub>10</sub> [m<sup>3</sup>/s] : crue décennale ;
  - Q<sub>100</sub> [m<sup>3</sup>/s] : crue centennale
  - C : coefficient du Gradex ;
  - P<sub>100</sub> [mm] : pluie centennale ;
  - P<sub>10</sub> [mm] : pluie décennale ;
  - Kr10 : coefficient de ruissellement décennal ;
  - T<sub>b10</sub> [s] : temps de base décennale.

#### ▪ Hydrogramme de crue

L'hydrogramme de crue donne l'évolution de la crue en fonction du temps. Il est schématisé en trois tronçons linéaires proposé par GRESILLON, HERTER et LAHYAYE [7] et construit à l'aide des temps de base et de montée. Le changement de pente de la décrue s'effectue à un débit appelé débit de discontinuité qui a été obtenu par la relation ci-après :

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

- T<sub>b10</sub> [s] : temps de base décennale
- T<sub>m10</sub> [s] : le temps de montée décennale
- Q<sub>d</sub> [m<sup>3</sup>/s] : débit de discontinuité
- Q<sub>p</sub> [m<sup>3</sup>/s] : débit de projet
- α<sub>10</sub> : Coefficient de pointe

### 3.2.3.4. Evaluation des apports liquides du bassin versant

C'est la quantité d'eau susceptible d'arriver à l'exutoire du bassin pendant une période considérée. Les apports sont évalués par la formule suivante :

|                                                   |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $V = K_e * S * P$ <p>et</p> $K_e = \frac{L_e}{P}$ | avec | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>V [m^3]</math> : Volume d'eau écoulé à l'exutoire ;</li> <li>• <math>K_e</math> : Coefficient d'écoulement ;</li> <li>• <math>S [m^2]</math> : Superficie du bassin versant ;</li> <li>• <math>P [m]</math> : Pluviométrie de la période considérée ;</li> <li>• <math>L_e [m]</math> : Lamé d'eau ruisselée au cours de la période.</li> </ul> |
|---------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Les coefficients d'écoulement en année quinquennale et décennale ont été estimés à partir des corrélations ci-dessous proposées par l'Office National des Barrages et des Aménagements Hydro- agricoles (ONBAH).

|                                       |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Ke5 = 0,7 * Ke$<br>$Ke10 = 0,5 * Ke$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Ke5 [\%]</math> : Coefficient d'écoulement en année quinquennale s che</li> <li>• <math>Ke10 [\%]</math> : Coefficient d'écoulement en année décennale s che.</li> </ul> |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Le coefficient d'écoulement moyen a été obtenu en déterminant la lam  d'eau écoulée à partir des méthodes de RODIER et de COUTAGNE.

#### ▪ Calcul de la lam  d'eau écoulée par la méthode de RODIER

Le bassin étudié a une pluviométrie annuelle comprise entre 750 et 1000 mm, et s'identifie au bassin versant de Bind  dans la commune Manga (Burkina Faso) situé dans le même régime climatique et présentant des caractéristiques morphologiques similaires à celui de Kobr . Le calcul de la lam  écoulée s'est fait par interpolation logarithmique entre les pluies médianes  $P_{med} = 750$  mm et  $P_{med} = 1000$  mm. L'expression est sous la forme :

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

#### ▪ Calcul de lam  d'eau écoulée par la méthode de COUTAGNE

Cette méthode suppose que le déficit d'écoulement annuel est voisin de l'évaporation. Autrement dit, le débit infiltré se retrouve pratiquement dans la retenue au cours d'un cycle annuel [8]. La lam  d'eau ruisselée est obtenue par l'expression ci-dessous.

|                                                                                                             |                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\lambda = \frac{1}{0,8+0,14*T} \text{ si } P(m) \in \left[ \frac{1}{8\lambda}; \frac{1}{2\lambda} \right]$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T [°C] : Température moyenne annuelle ;</li> </ul>                                            |
| $D(m) = P(m) - \lambda P^2(m) \text{ et par suite}$                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• P : Pluviométrie moyenne annuelle ;</li> </ul>                                                |
| $Le(mm) = P(mm) - D(mm)$                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• D : Déficit d'écoulement annuel ;</li> <li>• Le : Lane d'eau écoulée annuellement.</li> </ul> |

### 3.2.3.5. Etude de la cuvette

#### ▪ Evaluation des besoins

##### • *Besoins pastoraux*

La taille du cheptel en 2017 s'élevait à 3 084 gros ruminants et 17 679 petits ruminants. En considérant un taux d'accroissement de 2% [9], le cheptel à l'horizon du projet (30 ans) a été évalué à 5 929 gros ruminants et 33 986 petits ruminants. Les besoins pastoraux ont été estimés sur la base de 20l/jour/UBT [4]. Afin de prendre en compte le cheptel transhumant, la consommation obtenue a été majorée de 15% [10].

##### • *Besoins humains*

L'étude socio-économique a recensé dans la zone de projet 18 forages dont 17 sont fonctionnels. En plus des forages, 13 puits modernes dont 01 permanent<sup>3</sup> et 12 temporaires<sup>4</sup> ont été également recensés. L'analyse montre que les besoins domestiques sont couverts par ces deux principales sources à hauteur de 60% pour les forages et 40% pour les puits. Toutes fois, nous estimons que la population pourrait s'y approvisionner pour certains besoins domestiques tels que la confection des briques, etc. Les besoins domestiques à l'horizon du projet en considérant le taux d'accroissement communal qui est de 3,09% ont été estimés sur la base de 20l/jour/personne et une majoration de 15% a été appliquée pour tenir compte des prélèvements occasionnels. Les besoins sont estimés comme suit :

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $P_n = P_0 * (1 + \alpha)^n$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• P<sub>0</sub> : Population initiale</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| $C_{Jn} = C_j * P_n$         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• n : Le nombre d'année par apport à l'horizon du projet</li> <li>• P<sub>n</sub> : Population à l'horizon du projet ;</li> <li>• α: Taux d'accroissement de la population ;</li> <li>• C<sub>Jn</sub> : Consommation journalière des populations à la n<sup>ème</sup> année</li> <li>• C<sub>j</sub> : consommation par habitant et par jour.</li> </ul> |

<sup>3</sup> Un puit est dit permanent lorsqu'il ne tarie pas. Autrement dit, il contient de l'eau en permanence

<sup>4</sup> Un puit est dit temporaire lorsqu'il tarie à une certaine période de l'année, notamment pendant la saison sèche

- **Besoins agricoles**

L'évaluation des besoins agricoles s'est faite en considérant un système d'irrigation gravitaire avec une efficacité de 60% [10]. Les besoins sont évalués comme suit :

|                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>BB = BN/E</math></li> <li>- <math>BN = ETM - Pe</math></li> <li>- <math>ETM = Kc * ET0</math></li> <li>- <math>Pe = P * 0,8</math> (Si: <math>P \geq 20</math>)</li> <li>- <math>Pe = P</math> (Si <math>P &lt; 20</math>)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>BB</math> [mm] : Besoins Brute</li> <li>• <math>BN</math> [mm] : Besoins Net</li> <li>• <math>ETM</math> [mm] : Evapotranspiration Maximale</li> <li>• <math>Pe</math> [mm] : Pluie efficace</li> <li>• <math>P</math> [mm] : hauteur de pluie</li> <li>• <math>Kc</math> : coefficient cultural</li> <li>• <math>ET0</math> [mm] : Evapotranspiration de référence</li> <li>• <math>E</math> : efficacité du réseau d'irrigation gravitaire (60%)</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- **Evaluation des pertes**

- **Pertes par infiltration**

Pour les pertes par infiltration, les valeurs usuelles de l'ordre de 1 à 3 mm/j en moyenne utilisées au Burkina Faso ont été considérées [10]. Le choix définitif a tenu compte du fait qu'un dépôt d'argile est constaté dans l'ancienne cuvette et ce processus se poursuivra certainement avec la nouvelle cuvette. Par ailleurs, il ressort des investigations géotechniques qu'une grande partie de la cuvette est tapissée d'une importante couche d'argile d'environ 0,5 m, ce qui constitue un atout majeur pour limiter l'infiltration [11]. Nous considérons donc, pour l'infiltration, la valeur de 1,5 mm/j.

- **Pertes par évaporation**

L'estimation de l'évaporation au niveau de la surface de la retenue est couramment faite avec la formule de POUYAUD (1985) qui propose une corrélation entre l'évaporation d'un bac de « classe A » et celle se produisant à la surface du plan d'eau [10]. Les données d'évaporation utilisées sont celles de la station de Fada N'gourma.

|                                         |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_{v,ret} = 1,664 * E_{bac,A}^{0,602}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>E_{v,ret}</math> [mm/j] : Evaporation au niveau de la retenue</li> <li>• <math>E_{bac,A}</math> [mm/j] : Evaporation à la surface du bac de classe A</li> <li>• 0,602 : Coefficient correcteur</li> </ul> |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- **Pertes liées aux dépôts solides**

Les eaux de ruissellement contribuent à l'envasement de la cuvette à travers le transport des particules solides. Nous avons utilisé les formules suivantes pour estimer les dépôts solides :

| Auteur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Formule                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| GRESILLON                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $D = 700 * \left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2} * S^{-0,1}$                            |
| GOTTSCHALK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $D = 260 * S^{-0,1}$                                                                |
| KARAMBIRI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $D = 137 * \left(\frac{P}{700}\right)^{-2,2} * S^{-0,05} * [0,25 + 1,13 * (h + r)]$ |
| Apports solide                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $V = D * S$                                                                         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• P [mm] : Pluie moyenne annuelle</li> <li>• S [km<sup>2</sup>] : Superficie du bassin versant</li> <li>• h : paramètre anthropique [0,1 – 0,4] pour un bassin versant comportant des villages ou situés à proximité de ceux-ci</li> <li>• r : paramètre morphologique [0,1 – 0,4] pour un relief peu accidenté</li> <li>• D [m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an] : dégradation spécifique annuelle</li> <li>• V [m<sup>3</sup>/an] : Volume annuel des dépôts solides.</li> </ul> |                                                                                     |

### 3.2.4. Conception et dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes

#### 3.2.4.1. La digue

La conception proposée est une digue homogène constituée de matériaux argileux et muni d'un drain horizontal.

##### ▪ Hauteur de la digue ( $H_d$ )

La hauteur de la digue ( $H_d$ ) est la hauteur obtenue au plan d'eau normal majorée de la lame d'eau au-dessus du déversoir ( $h$ ) et de la revanche ( $R$ ) pour tenir compte de l'effet des vagues. Elle a été calculée comme suit :

|                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $H_d = H_r + R + h$                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_d</math> [m] : Hauteur de la digue</li> <li>• <math>H_r</math> [m] : Hauteur de la retenue</li> <li>• <math>R</math> [m] : Revanche libre</li> <li>• <math>h</math> [m] : lame d'eau au-dessus du déversoir</li> <li>• <math>A</math> : Coefficient de sécurité (0,75)</li> <li>• <math>v_v</math> [m/s] : Vitesse des vagues</li> <li>• <math>h_v</math> [m] : Hauteur des vagues</li> <li>• <math>f</math> [km] : Fetch, mesuré à partir du plan d'eau</li> </ul> |
| $R = A \left[ h_v + \frac{v_v^2}{2g} \right]$ $v_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} h_v$ $h_v = 0,75 + 0,34 \sqrt{f} - 0,36 \sqrt[4]{f}$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

##### ▪ Largeur en crête ( $L_c$ )

La largeur en crête a été déterminée à partir des formules de KNAPPEN et PREECE

| Auteur  | Formule                    | Paramètre                                                                                      |
|---------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KNAPPEN | $L_c = 1,65 \sqrt{H_d}$    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>H_d</math> [m] : Hauteur de la digue</li> </ul> |
| PREECE  | $L_c = 1,1 \sqrt{H_d} + 1$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>L_c</math> [m] : Largeur en crête</li> </ul>    |

##### ▪ Pente des talus

Les pentes des talus sont retenues en référence aux indications des conditions de stabilité mécaniques du massif et de ses fondations conformément au [Tableau 2](#) [12].

[Tableau 2](#): Valeurs indicatives de talus de digue stable

| Hauteur de la digue (m) | Type de digue                   | Pentes des talus |      |
|-------------------------|---------------------------------|------------------|------|
|                         |                                 | Amont            | Aval |
| Inférieure à 5 m        | Homogène                        | 1/2,5            | 1/2  |
|                         | A zone                          | 1/2              | 1/2  |
| Entre 5 et 10 m         | Homogène, granulométrie étendue | 1/2              | 1/2  |

| Hauteur de la digue (m) | Type de digue                        | Pentes des talus |       |
|-------------------------|--------------------------------------|------------------|-------|
|                         |                                      | Amont            | Aval  |
| Entre 10 et 20 m        | Homogène à fort pourcentage d'argile | 1/2,5            | 1/2,5 |
|                         | A zone                               | 1/2              | 1/2,5 |
|                         | Homogène, granulométrie étendue      | 1/2,5            | 1/2,5 |
|                         | Homogène à fort pourcentage d'argile | 1/3              | 1/2,5 |
|                         | A zone                               | 1/2              | 1/3   |

Source : LO, 2017

#### ▪ Vérification de la stabilité des pentes de la digue

Il existe différents scénarii pour l'étude de la stabilité, mais nous avons considéré le cas où le remblai n'est pas encore consolidé et soumis à une saturation du fait de la mise en eau du barrage [13]. Les caractéristiques de la digue étant déterminées, nous avons procédé à la vérification de la stabilité à travers la méthode de BISHOP. Les calculs ont été faits à l'aide du logiciel G oslope 2012. L'équation se traduit comme suit :

|                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $F_s = \frac{\sum \frac{W * \tan\varphi + C * B}{\cos\alpha * (1 + \tan\alpha * \tan\varphi)}}{\sum (W \sin\alpha)} \geq 1,2$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C : cohésion du matériau argileux</li> <li>• B : longueur de l'arc du cercle de rupture</li> <li>• W : Poids propre du talus délimité par la ligne de glissement</li> <li>• <math>\varphi</math> : angle de frottement interne du remblai</li> <li>• <math>\alpha</math> : angle du talus</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### ▪ Largeur en base (Lb)

La largeur en base de la digue a été obtenue par la formule ci-après.

|                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_b = L_c + H_d \left( \frac{1}{\tan\alpha_1} + \frac{1}{\tan\alpha_2} \right)$ avec | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>L_b</math> : Largeur en base de la digue ;</li> <li>• <math>L_c</math> : Largeur en cr te de la digue ;</li> <li>• <math>H_d</math> : hauteur de la digue ;</li> <li>• <math>\alpha_1; \alpha_2</math> : respectivement l'angle des talus amont et aval.</li> </ul> |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### ▪ Protection des talus par des enrochements

Nous avons utilisé les recommandations du corps des ingénieurs de l'armée américaine qui propose la relation suivante en fonction de la hauteur des vagues et des dimensions des blocs.

|                              |                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $e = 1,5 \times D_{50}$ avec | <ul style="list-style-type: none"> <li>• e :  paisseur de la couche de protection ;</li> <li>• <math>D_{50}</math> : dimensions des enrochements fonction de la hauteur des vagues (donner par une abaque).</li> </ul> |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### ▪ **Infiltration dans la digue et dispositif de drainage**

Nous proposons un drain tapis filtrant (drain horizontal) qui s'étend au ¼ de la largeur de base pour le drainage des eaux. Le choix du drain horizontal est justifié par son efficacité et sa facilité de mise en œuvre étant donné la technique d'exécution du remblai qui consiste à compacter la terre par couches horizontales. L'épaisseur du drain est fonction du débit évacué dont l'équation de KOZENY permet d'estimer sa valeur. Elle s'obtient comme suit :

|                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $e = 2 * \sqrt{\left(q * \frac{l_d}{K_d}\right)}$ $q = K_r * Y_o \text{ et } Y_o = \sqrt{(H_r^2 + d^2)} - d$ $d = (l_b - 0,25 * L_b) - 0,7 * H_r / tg \alpha_1$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>e [m]</math> : épaisseur du drain</li> <li>• <math>q \left[\frac{m^3}{s \cdot ml}\right]</math> : débit de fuite au niveau du massif</li> <li>• <math>K_d \left[\frac{m}{s}\right]</math> : perméabilité du drain</li> <li>• <math>K_r \left[\frac{m}{s}\right]</math> : perméabilité du remblai</li> <li>• <math>H_r [m]</math> : hauteur de la retenue</li> <li>• <math>l_b [m]</math> : largeur en base de la digue</li> </ul> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### ▪ **Tranchée d'encrage**

En se référant aux résultats des investigations géotechniques de l'axe de la digue, on note que la roche saine se trouve à des profondeurs variables entre 6 m au niveau du lit mineur et à moins de 2 m vers les rives. Etant donné que nous avons une digue en remblai (souple par nature) et fondé sur un terrain hétérogène, nous opterons pour l'une des variantes techniques proposée par le CEMAGREF pour la tranchée d'encrage [14].

#### **3.2.4.2. Evacuateur de crue**

L'évacuateur de crues proposé est un déversoir de type poids en béton cyclopéen avec un profil trapézoïdal. Il est construit en position frontal pour restituer les eaux directement dans le lit du cours d'eau via le chenal d'écoulement.

### ▪ **Longueur du déversoir (L)**

La longueur du seuil ou longueur du déversoir a été évaluée à l'issue du laminage de crues pour optimiser sa longueur sans augmenter le risque de submersion du barrage. Nous avons utilisé la résolution manuelle par la méthode du « $X_0$ » en admettant une lame d'eau de 0,75 m au-dessus du seuil. La démarche de calcul, faite par itération, est résumée ci-après :

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_1 = \frac{Q_{cmax}}{m\sqrt{2gh^{1,5}}}$ $x_{01} = \frac{m^2 g L_1^2 Q_{cmax} T_m^3}{S^3}; \log_{10}(x_{01})$ <p>Lecture de <math>\beta_1</math> sur l'abaque ; <math>Q_{e1} = \beta_1 Q_{cmax}</math></p> $L_2 = \frac{Q_{e1}}{m\sqrt{2gh^{1,5}}}$ $x_{02} = \frac{m^2 g L_2^2 Q_{cmax} T_m^3}{S^3}; \log_{10}(x_{02})$ <p>Lecture de <math>\beta_2</math> sur l'abaque ; <math>Q_{e2} = \beta_2 Q_{cmax}</math></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Q_{cmax}</math> [m<sup>3</sup>/s] : Débit du projet</li> <li>• <math>T_m</math> [s] : Temps de montée</li> <li>• <math>h</math> [m] : Charge sur le seuil</li> <li>• <math>m</math> : Coefficient de débit (abaque)</li> <li>• <math>g</math> [m/s<sup>2</sup>] : Accélération pesanteur</li> <li>• <math>S</math> [m<sup>2</sup>] : Surface du PEN</li> <li>• <math>Q_e</math> [m<sup>3</sup>/s] : Débit laminé</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### ▪ Stabilité du déversoir

L'obtention des dimensions du déversoir passe par une étude de stabilité. Les conditions de stabilités internes et externes ont été vérifiées à travers les expressions suivantes :

|                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Stabilité externe</b></p> <p>✓ Stabilité au non glissement</p> $F_g = \frac{(W - U) \times \tan \varphi}{P_e + P_t} \geq 1,2$ <p>✓ Stabilité au non renversement</p> $F_R = \frac{\sum M(W - U)}{\sum M(P_e + P_t)} \geq 1,5$ | <p><math>\varphi</math>: Angle de frottement interne du matériau en dessous du déversoir</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>F_g</math> et <math>F_R</math> : respectivement facteur de sécurité au non glissement et au non renversement.</li> <li>• <math>e</math> : excentricité</li> <li>• <math>\sigma_{max}</math> et <math>\sigma_{lim,béton}</math> : respectivement la contrainte d'application au sol et celle admissible du béton</li> <li>• <math>W</math> : Poids propre du déversoir</li> <li>• <math>U</math> : Pression hydrostatique interne</li> <li>• <math>P_e</math> : Poussée hydrostatique externe</li> <li>• <math>P_t</math> : Poussée des sédiments déposés</li> </ul> |
| <p><b>Stabilité interne</b></p> <p>✓ Condition de non fissuration</p> $-b_2/6 \leq e \leq b_2/6$ <p>✓ Condition de non rupture</p> $\sigma_{max} \leq \sigma_{lim,béton}$                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

La vérification au poinçonnement a été faite comme suit :

|                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $q_{adm} = \left(\frac{1}{2}\right) * b_2 * \gamma * N_\gamma + C * N_c + D * \gamma * N_q$ <p>Ensuite pour : <math>e \leq \frac{b_2}{6}</math> ; on a :</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>q_{adm}</math> : Contrainte maximale admissible du sol support</li> <li>• <math>q_{ref}</math> : Contrainte de référence</li> <li>• <math>N_\gamma, N_c</math> et <math>N_q</math> : Facteurs de portance</li> <li>• <math>\gamma</math> : poids volumique du sol support</li> <li>• <math>D</math> : Profondeur d'ancrage du déversoir dans la fondation</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                |                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $q_{ref} = \frac{W}{b_2} \left( 1 + \frac{6 * e}{b_2} \right)$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>C</math> : Cohésion du matériau de fondation</li> <li>• <math>b_2</math> : Largeur de base du déversoir</li> </ul> |
| On vérifie que : $q_{adm} \geq 1,5 * q_{ref}$ [15]             |                                                                                                                                                                   |

#### ▪ **Murs bajoyers**

La conception des murs bajoyers passe par un pré-dimensionnement dans lequel le mur bajoyer est assimilé à un mur de soutènement. Cette phase aboutie à la détermination des dimensions du mur et l'on procède à la vérification des conditions de stabilité au glissement et au renversement. Les dimensions finales sont obtenues après cette étape de vérification dont le processus a été entièrement réalisé à l'aide du logiciel CYPE 2014.

#### ▪ **Bassin de dissipation et chenal d'écoulement**

Dimensionner le bassin de dissipation c'est lui donner une longueur supérieure à la longueur (L) du ressaut et une profondeur (D) supérieure à la différence entre le tirant d'eau à la sortie et le tirant d'eau normal. L'absence ou la présence d'un ressaut s'apprécie à travers la valeur du nombre de Froude (F). Le tirant d'eau normal dans le chenal d'écoulement a été évalué suivant la méthode de la débitance :

|                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q/\sqrt{I} = K_s \frac{(y_n(b + my_n))^{5/3}}{(b + 2my_n)^{2/3}}$                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Q</math> : Débit laminé (m<sup>3</sup>/s) ;</li> <li>• <math>K_s</math> : Coefficient de rugosité du béton ;</li> <li>• <math>m</math> : Fruit de berge des talus du bassin ;</li> <li>• <math>b</math> : Longueur du seuil (m) ;</li> <li>• <math>y_n</math> : Tirant d'eau normal (m);</li> <li>• <math>I</math> : Pente du chenal (%)</li> </ul>                                                                                                                                                                    |
| $\begin{cases} V_1 = \sqrt{2g \left[ 0,9 \left( H + h + \frac{V_0^2}{2g} \right) - y_1 \right]} \\ y_1 = \frac{Q}{l * V_1} = \frac{q}{V_1} \\ F = \frac{V_1}{\sqrt{g * y_1}} \end{cases}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>l</math> : Longueur du seuil déversant (m) ;</li> <li>• <math>q</math> : Débit spécifique sur seuil (m<sup>3</sup>/s/ml) ;</li> <li>• <math>h</math> : Lamé d'eau sur le seuil (m) ;</li> <li>• <math>H</math> : Hauteur libre du déversoir (m) ;</li> <li>• <math>V_0</math> : Vitesse de l'eau sur le seuil (m/s) ;</li> <li>• <math>y_1</math> : Tirant d'eau à l'entrée du réseau (m);</li> <li>• <math>V_1</math> : Vitesse à l'entrée du réseau (m/s) ;</li> <li>• <math>F</math> : Nombre de Froude.</li> </ul> |

### 3.2.4.3. L'ouvrage de prise et de vidange

Il est prévu un ouvrage de prise à but agricole constitué d'une conduite en fonte enterrée sous la digue. Compte tenu de la taille du barrage (petit barrage), nous optons pour un ouvrage de vidange combiné à la prise. Le diamètre a été déterminé en fonction du débit d'équipement du périmètre et par la suite des vérifications ont été faites par rapport au temps de vidange afin de retenir un diamètre acceptable. Le calcul a été fait comme suit :

|                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi C \sqrt{2gh}}}$                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>C</math> : Coefficient de débit</li> <li>• <math>S</math> : Section de la conduite [m<sup>2</sup>]</li> <li>• <math>Q</math> : Débit total [m<sup>3</sup>/s]</li> <li>• <math>D</math> : Diamètre de la conduite [m]</li> </ul>                                                                       |
| $Q = V / (24 * T * 3600)$ $D = [4 * Q / (\sqrt{(m * \sqrt{2 * g * h})})]$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>T</math> : Temps de vidange [Jr]</li> <li>• <math>V</math> : volume d'eau à évacuer [m<sup>3</sup>]</li> <li>• <math>Q</math> : Débit de vidange [m<sup>3</sup>/s]</li> <li>• <math>m</math> : Coefficient de perte de charge</li> <li>• <math>h</math> : Charge à la côte de la prise [m]</li> </ul> |

La prise débouche en aval dans un bassin de type impact dont le dimensionnement consiste à déterminer la largeur du bassin en fonction du débit de sortie. Les autres dimensions du bassin sont déduites à partir des relations avec la largeur.

### 3.2.5. Impact environnemental et social

Tout projet susceptible d'avoir des impacts significatifs sur l'environnement au Burkina Faso est r g  par le décret N 1187 du 22/10/2015 portant conditions et procédures de réalisation des évaluations environnementales. Le décret stipule que les petits barrages et retenues d'eau dont la hauteur de la digue est inférieure à 10 m avec une capacité ne dépassant pas 1 000 000 m<sup>3</sup>, sont classés dans la « catégorie B », donc soumis à une notice d'impact environnemental et social (NIES).

La NIES est un outil de planification pour le promoteur, de participation pour le public et de prévention dans la prise de décision pour les décideurs [16]. Son élaboration proprement dit suit plusieurs étapes et fait intervenir plusieurs acteurs. Cependant, dans le cadre de cette étude, nous nous sommes limité à l'analyse de l'état initial du site du nouveau barrage, l'identification des impacts potentiels et la proposition d'un plan de gestion environnemental et social des impacts.

### **3.2.5.1. Identification des impacts**

Nous avons utilisé la « Matrice de LEOPOLD modifiée » comme guide d'identification des impacts [16]. Cet outil permet de recenser les différentes activités source d'impacts potentiels en phase de construction et d'exploitation du projet.

### **3.2.5.2. Evaluation des impacts**

L'évaluation des impacts a été faite selon trois critères à savoir l'intensité, la portée et la durée. Chaque critère a été apprécié en trois niveaux et l'importance de l'impact est jugée en fonction des critères. La synthèse a été faite avec la « Matrice de FECTEAU ».

### **3.2.5.3. Plan de gestion environnemental et social**

Le Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) est un outil qui permet d'apporter des réponses aux problèmes identifiés dans le souci d'assurer une meilleure insertion du projet dans l'environnement récepteur. Dans cette partie, nous avons décrit les mesures à prendre en compte pour gérer les impacts du projet.

## **3.2.6. Etude financière**

### **3.2.6.1. Métré des ouvrages**

Le métré a consisté à l'analyse quantitative et qualitative de l'ensemble des travaux nécessaires à la réalisation du barrage afin de pouvoir évaluer le cout du projet. Il est directement lié aux différentes technologies et techniques proposés dans la conception et l'exécution. Les travaux sont regroupés par corps d'état et sont calculés dans l'ordre chronologique de réalisation.

### **3.2.6.2. Devis estimatif**

L'estimation du cout en hors taxe a été faite sur la base de deux références. La première concerne le cadre de devis unitaire applicable dans la structure d'accueil et la seconde est un document de l'Autorité de Régulation de la Commande Publique (ARCOP) portant sur la mercuriale des prix unitaires dans la section « Construction de petits barrages ».

## **4. RESULTATS ET DISCUSSIONS**

---

### **4.1. Synthèse des études de base**

#### **4.1.1. Diagnostic du barrage existant**

##### **4.1.1.1. Historique du barrage**

Du rapport d'étude diagnostique réalisé par SERAT, le barrage a été construit manuellement par la population elle-même dans les années 1980. Par la suite, l'Etat a financé la réalisation d'un barrage beaucoup plus solide en 1985 avec une capacité d'environ 500 000 m<sup>3</sup>. Cependant, l'ouvrage a cédé au droit de l'évacuateur de crues en 1990 soit cinq ans après sa réalisation. Il a fallu attendre jusqu'en 2009 (19 ans après) pour que l'ouvrage soit à nouveau réhabilité avec la pose de la maçonnerie de moellons. Malheureusement, l'évacuateur va encore céder en 2010 ce qui a valu sa prise en compte dans la liste des barrages à réhabiliter.

##### **4.1.1.2. Etat des lieux de la digue**

C'est une digue homogène en remblai argileux de longueur approximative 315 m avec un évacuateur de crue en rive gauche. La hauteur maximale de la digue est d'environ 4 m. On note une forte présence d'arbres sur la digue et les talus aval et amont présentent des griffes d'érosion. Le manque d'entretien serait en grande partie la cause des dégradations.



Photo 1: Digue envahie par les arbres



Photo 2 : Dégradation du pied de la digue

Source : SERAT, 2019

#### **4.1.1.3. Etat des lieux de l'évacuateur de crue**

L'évacuateur de crue ou du moins ce qu'il en reste, laisse apercevoir un déversoir formé par un seuil d'une longueur de 20 m et placé en rive gauche. Le déversoir a complètement cédé, ce qui ne permet plus à la retenue de fonctionner comme il se doit. La dégradation du déversoir a également occasionné la destruction du bassin de dissipation et provoqué une érosion du chenal d'écoulement. Le choix porté sur le type de déversoir formé d'un simple seuil, pourrait en partie justifier sa dégradation.



Photo 3 : Evacuateur de crue détruit



Photo 4: Etat actuel du chenal

Source : SERAT, 2019

#### **4.1.1.4. L'ouvrage de prise**

Initialement, le barrage avait une vocation purement pastorale. Pour cette raison, aucun ouvrage de prise n'avait été prévu. Mais avec le temps, beaucoup d'autres usages (agricole, pêche, etc.) se sont ajoutés et tentent de substituer l'usage initial.

#### **4.1.1.5. Activités menées autour du site**

Le niveau de dégradation de l'ouvrage est tel qu'il n'existe plus de cuvette qui puisse contenir l'eau. La cuvette est ainsi exploitée sous forme de champs familiaux. Les cultures se pratiquent sur des espaces assez réduits entre 0,25 à 1 hectare. On note aussi la pratique de l'arboriculture mais de façon marginale. On rencontre essentiellement des manguiers et des goyaviers plantés dans les parcelles de maraichage du temps où le barrage était en état ou derrière les concessions pour les besoins domestiques.



Photo 5 : Labour dans la cuvette du barrage pour la mise en place de culture

Source : SERAT, 2019

#### **4.1.2. Etude socio-économique**

##### **4.1.2.1. Délimitation de la zone d'influence du projet**

Le village de Sougoudin est l'un des onze villages de la commune de Dourtenga. Il est situé au Sud-Est de la commune et distant d'environ 6 km de Dourtenga, chef-lieu de la commune. Quant à la terminologie « Kobre/Sougoudin », notons que Kobre représente l'ensemble des trois villages à savoir Sougoudin, Kangrétenga et Yambili (Figure 1) identifiés comme localités concernées par le projet. Cependant, Kobre n'est pas reconnu sur le plan administratif comme étant un village mais sera utilisé pour illustrer la zone de projet conformément aux pièces contractuelles fournies par le maître d'ouvrage.

##### **4.1.2.2. Caractéristiques démographique de la zone du projet**

La zone de projet formée par les trois villages (Sougoudin, Yambili, et Kangrétenga), est composée de 15 quartiers qui, selon les projections, totaliseraient 3 500 habitants en 2019 et 8 990 habitants à l'horizon du projet (30 ans). La population est composée en grande partie de mossis (Yana) et de peulh. Elle est répartie à des proportions à peu près égales entre 51% pour le sexe féminin et 49% pour le sexe masculin [4].

#### 4.1.2.3. Activités  conomiques

##### ▪ Agriculture

C'est une agriculture de type extensif qui utilise peu d'intrant agricoles et des outils de travail manuels peu performants. Les cultures de rente sont essentiellement le coton, l'arachide, le niébé, le voandzou, la patate et le sésame. Les statistiques de la production céréalière entre 2003 et 2019 sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3: Production moyenne annuelle (en tonnes ) de céréales de Kobr 

| Localité                  | Ma s (t)     | Mil (t)     | Riz et Ma s<br>bas-fond (t) | Sorgho<br>blanc (t) | Sorgho<br>rouge (t) |
|---------------------------|--------------|-------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| Sougoudin                 | 213          | 113         | 18,8                        | 40                  | 171,9               |
| Kangrétenga               | 133          | 70,8        | 11,8                        | 24,3                | 107,7               |
| Yambili                   | 106          | 56,7        | 9,3                         | 19,5                | 85,9                |
| <b>Production moyenne</b> | <b>150,8</b> | <b>80,3</b> | <b>13,3</b>                 | <b>27,5</b>         | <b>12,8</b>         |

Source : SERAT, 2020

L'examen du Tableau 3 montre l'absence de culture maraîchère. Sachant que les cultures maraîchères sont pour la plupart produites en saison sèche, l'absence d'eau liée à la rupture du barrage justifie cet état de fait. La reconstruction du barrage permettrait de relancer cette activité pourvoyeuse de revenus et par ricochet lutter contre l'exode rural saisonnier.

##### ▪ élevage

C'est la seconde source de revenu des habitants après l'agriculture. En plus des revenus qu'il procure aux ménages, l'élevage participe à l'accroissement de la production agricole grâce à l'apport en fumure organique [4]. Le système d'élevage pratiqué est de type traditionnel extensif. Le Tableau 4 présente l'effectif du cheptel de l'année 2017.

Tableau 4 : Effectif du cheptel en 2017 de la zone du projet

| Désignation<br>des animaux | Localités |             |         |              |
|----------------------------|-----------|-------------|---------|--------------|
|                            | Sougoudin | Kangrétenga | Yambili | Total Kobr   |
| Asins                      | 122       | 76          | 61      | <b>260</b>   |
| Bovins                     | 1 321     | 826         | 661     | <b>2 807</b> |
| Caprins                    | 1 952     | 1 220       | 976     | <b>4 148</b> |
| Equins                     | 8         | 5           | 4       | <b>17</b>    |
| Ovins                      | 1 542     | 964         | 771     | <b>3 277</b> |
| Pintades                   | 1 020     | 637         | 510     | <b>2 166</b> |
| Porcins                    | 255       | 159         | 127     | <b>541</b>   |
| Poules                     | 3 552     | 2 220       | 1 776   | <b>7 547</b> |

Source : SERAT, 2020

▪ **Autres activités économiques : Ressources forestières, Artisanat et Commerce**

Les habitants de Kobre exploitent de façon marginale certaines ressources forestières comme les produits forestiers ligneux (bois de chauffe et de service), les agrégats et matériaux de construction (sable, gravier, etc.).

L'artisanat quant à lui n'y est pas aussi développé. Le secteur est constitué de petits producteurs et un certain nombre de corps de métiers. Ce sont entre autres des réparateurs d'engins à deux roues, des couturiers, des forgerons, des soudeurs, des maçons, etc. Les principales difficultés soulignées sont le faible niveau d'organisation, la faiblesse des compétences techniques et la faible promotion des artisans locaux.

Pour ce qui est du commerce, le marché local de Kangrétenga est le lieu privilégié pour exercer le commerce dans la zone et vient en deuxième position après celui de Dourtenga, chef-lieu de la commune. Le secteur y connaît un dynamisme particulier de par sa proximité avec le Togo et le Ghana. Les produits d'échange sont constitués essentiellement de produits agricoles, de produits artisanaux (matériels agricoles) et des produits de l'élevage. La reconstruction du barrage pourrait contribuer à développer les sous-secteurs et accroître les produits marchands.

**4.1.3. Etude géotechnique et géophysique**

**4.1.3.1. Etude géotechnique**

▪ **Sol de fondation de la digue du barrage**

Au total, onze puits de profondeur variable (de 0,5 à 7 m) ont été exécutés suivant l'axe de la digue. Les échantillons prélevés au niveau de chaque puits ont fait l'objet d'analyse au laboratoire. Pour la fondation, les analyses ont montré que le sol en place, à partir de 0,5 m, est constitué de matériau argileux-limoneux non-dispersive, imperméable et surplombant une couche de roche friable. Cette dernière repose sur une roche saine à 6 m de profondeur au niveau du lit mineur et à moins de 2 m vers les rives. La perméabilité du sol varie en fonction de la profondeur et se situe entre  $3.10^{-7}$  m/s à  $4.10^{-5}$  m/s.

▪ **Zone d'emprunts en matériaux argileux et latéritique**

Les investigations géotechniques menées dans la cuvette et dans l'environnement immédiat du barrage ont mise en évidence la disponibilité de matériau d'emprunt argileux et latéritique. L'emprunt argileux étudié qui pourrait servir à réaliser la digue est non dispersif et imperméable avec un angle de frottement  $\phi = 8^\circ$  et une cohésion  $C = 49,8 \text{ kPa}$ . La perméabilité de l'argile est de  $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ . La teneur en eau à l'optimum est de 19% correspondant à une densité de  $1,68 \text{ t/m}^3$ . L'emprunt se trouve à 100 m en amont de l'ancienne digue et s'étend sur une superficie de 3,5 ha. Dans la même zone, on y a découvert du matériau latéritique de bonne qualité qui s'étend sur une surface de 1,50 ha.

▪ **Carrières de sable, gravier et moellons**

Les matériaux pour la réalisation des ouvrages en béton et le drain on fait l'objet d'essai granulométrique par tamisage et équivalent sable. Les résultats obtenus montrent la présence d'un sable moyen, très propre et adapté pour les ouvrages en béton et le filtre. La carrière de sable se trouve dans le lit d'une rivière située à moins de 5 km du site du barrage. Pour le gravier, les recherches ont permis d'identifier une carrière de quartz grossier bien gradué et étalé, de bonne qualité pour les travaux. Les carrières de moellons et de gravier, également disponible dans la zone, sont situées à moins de 3 km du site.

**4.1.3.2. Investigation géophysique**

Le but est d'identifier d'éventuelles fractures qui pourraient porter préjudice à la digue ou favoriser l'infiltration dans la cuvette. Dans le cadre de cette étude, nous avons procéder à l'exploitation des données cartographiques issues de l'analyse d'images satellitaires. A l'issu des investigations, nous n'avons pas constaté la présence de fracture au niveau de l'emprise du barrage. Sous réserve d'investigations approfondies dans ce sens, le site choisi est convenable pour recevoir l'ouvrage.

## 4.2. Choix du site du nouveau barrage

Les termes de références de la présente étude fixent deux principales exigences à savoir, (i) disposer d'un barrage d'une capacité minimal de **1 000 000 m<sup>3</sup>** et (ii) pouvoir aménager en aval du barrage une superficie comprise entre **10 et 20 ha**.

Le choix du site d'un barrage tient compte de nombreuses contraintes : capacité suffisante de la cuvette, les apports du bassin versant, le cout des travaux, l'impact sur l'environnement humain et naturel. Pour ce dernier point, les problèmes de déplacement des populations sont toujours difficiles à résoudre, surtout lorsqu'ils se conjuguent avec des contraintes d'origine coutumières et ancestrales. Nous avons donc étudié trois options à l'issue de laquelle l'une a été retenue tenant compte des contraintes évoquées ci-dessus. Le Tableau 5 fait la synthèse de l'étude des variante pour le choix du site.

Tableau 5: Analyse des options pour le choix du site du barrage

| Option          | Proposition                                                       | Avantages                                                                                                                                                                                                                                                              | Contraintes                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Option 1</b> | Réhabiliter la digue existante                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimisation du cout de l'ouvrage</li> <li>• Limitation du phénomène d'infiltration</li> <li>• Conservation des habitudes de la population et des champs</li> <li>• Disponibilité de grande superficie aménageable</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Insuffisance des apports liquides du bassin</li> <li>• Déplacement d'un grand nombre de la population</li> <li>• Manque d'information sur le barrage actuel</li> <li>• Engloutissement des champs et du CSPS</li> </ul> |
| <b>Option 2</b> | Construire une nouvelle digue à 500 m en aval de l'ancienne digue | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuvette encaissée</li> <li>• Disponibilité de superficies importante en aval</li> <li>• Topographie et morphologie du cours d'eau propice</li> </ul>                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation du cout de l'ouvrage par rapport à la 1<sup>ère</sup> option</li> <li>• Menace du CSPS et de l'école par les PHE</li> <li>• Apports liquides insuffisants</li> </ul>                                       |
| <b>Option 3</b> | Construire une nouvelle digue à 850 m en aval de l'ancienne digue | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuvette plus encaissée</li> <li>• Apports prévisibles du bassin versant suffisants</li> <li>• Investigations géotechniques disponibles</li> <li>• Pas d'impact sur le CSPS et l'école</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cout de l'ouvrage élevé par rapport aux deux autres options</li> <li>• Réduction de la superficie aménageable en aval</li> <li>• Bouleversement des habitudes des populations</li> </ul>                                |

En conclusion, nous avons jugé que **l'option 3** offre le meilleur compromis entre les impératifs techniques, financiers, environnementaux et humains. C'est ainsi que nous avons proposé une reconstruction totale de la digue sur un nouveau site identifié à 850 m environ en aval de l'ancienne digue. Les coordonnées du nouveau site sont : **Longitude : 0  3' 23,3'' Est et Latitude : 11  35' 23,6'' Nord** ou **X : 178 964,40 m et Y : 1 282 865,02 m.**

### 4.3. Etude topographique

La nouvelle position de la digue permet de ressortir les caractéristiques de la cuvette, notamment les courbes hauteur volume et hauteur surface présentées dans le Graphique 1. En outre, la Figure 5 présente la distribution spatiale du plan d'eau en fonction des altitudes.



Graphique 1 : Courbes hauteur – volume et hauteur - surface

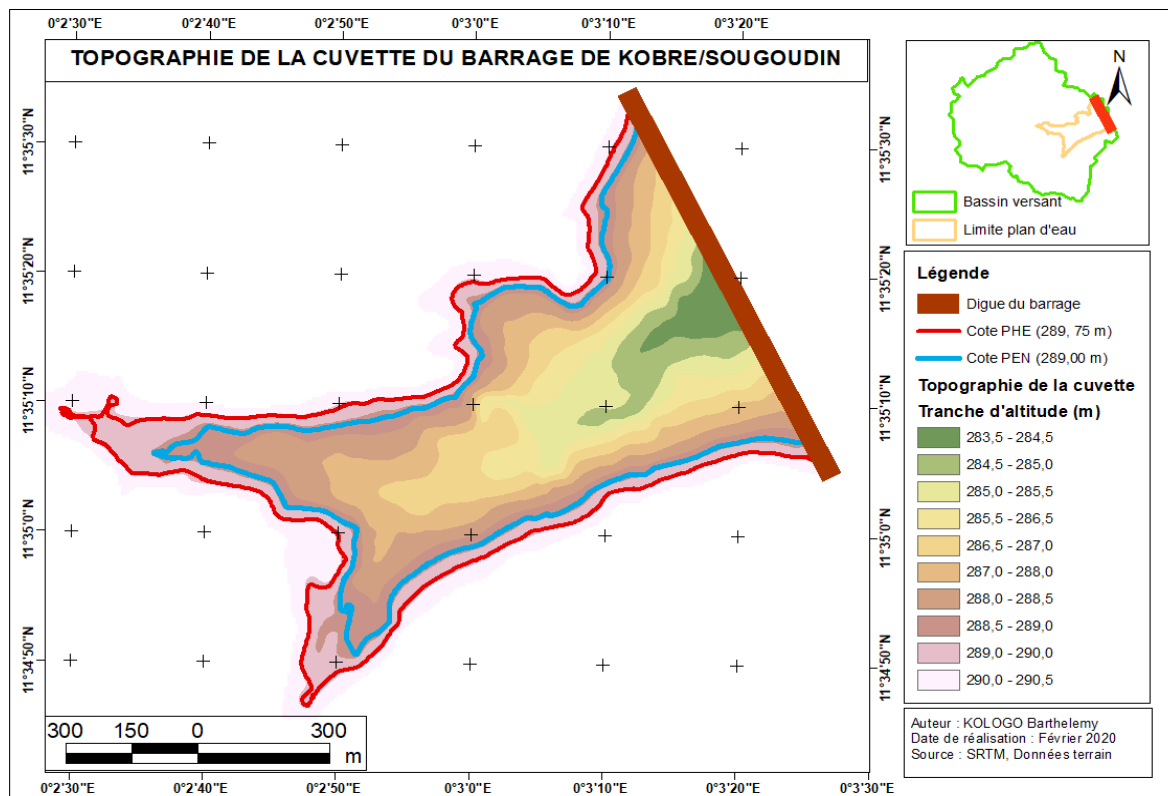


Figure 5 : Topographie de la cuvette du barrage de Kobr 

L'examen du Graphique 1 montre qu'il faut au moins une hauteur de digue égale à 5,75 m pour pouvoir mobiliser un volume d'au moins 1 000 000 m<sup>3</sup> avec un plan d'eau estimé à 55,2 ha. Cette hauteur de la digue correspond à la côte 289,00 m comme le montre également la Figure 5 (les détails en ANNEXE 2).

#### 4.4. Etude pluviométrique

##### 4.4.1. Vérification de l'homogénéité de la série

La méthode de la régression linéaire a été utilisée pour compléter les données manquantes de la station pluviométrique de Tenkodogo à partir de celle de Fada N'gourma. L'application de la méthode de la moyenne mobile et celle des doubles cumuls nous rassure de l'utilisation des données comme nous les Figure 6 et Figure 7.

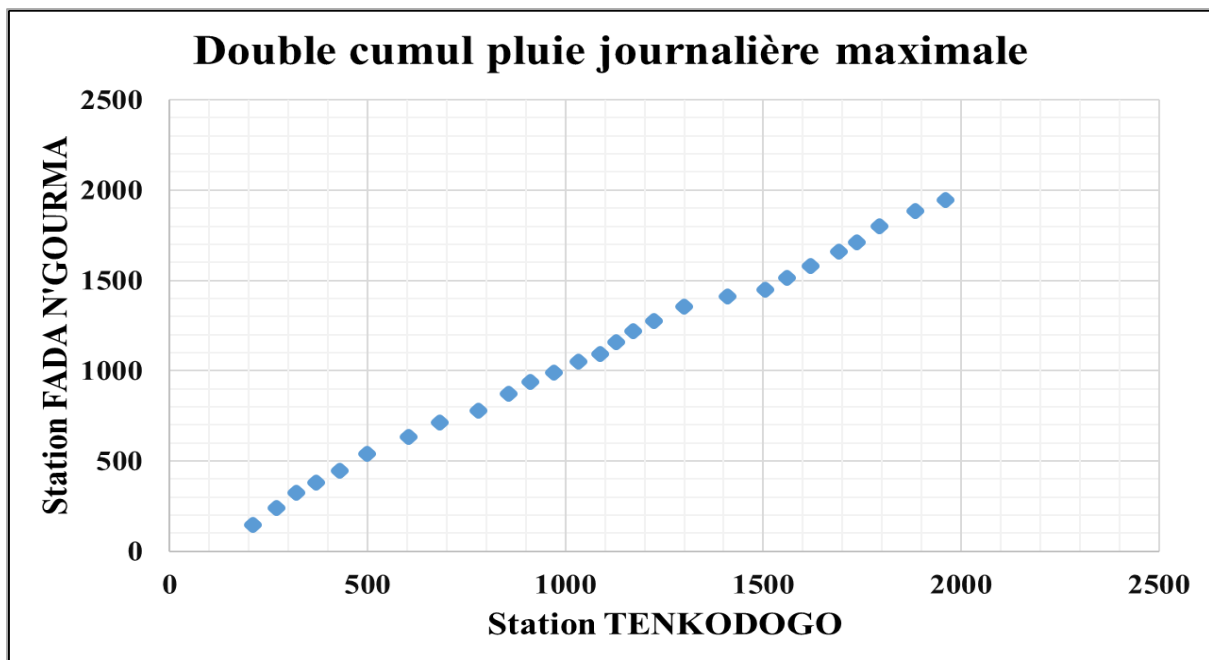


Figure 6 : Double cumul de la pluie journalière maximale

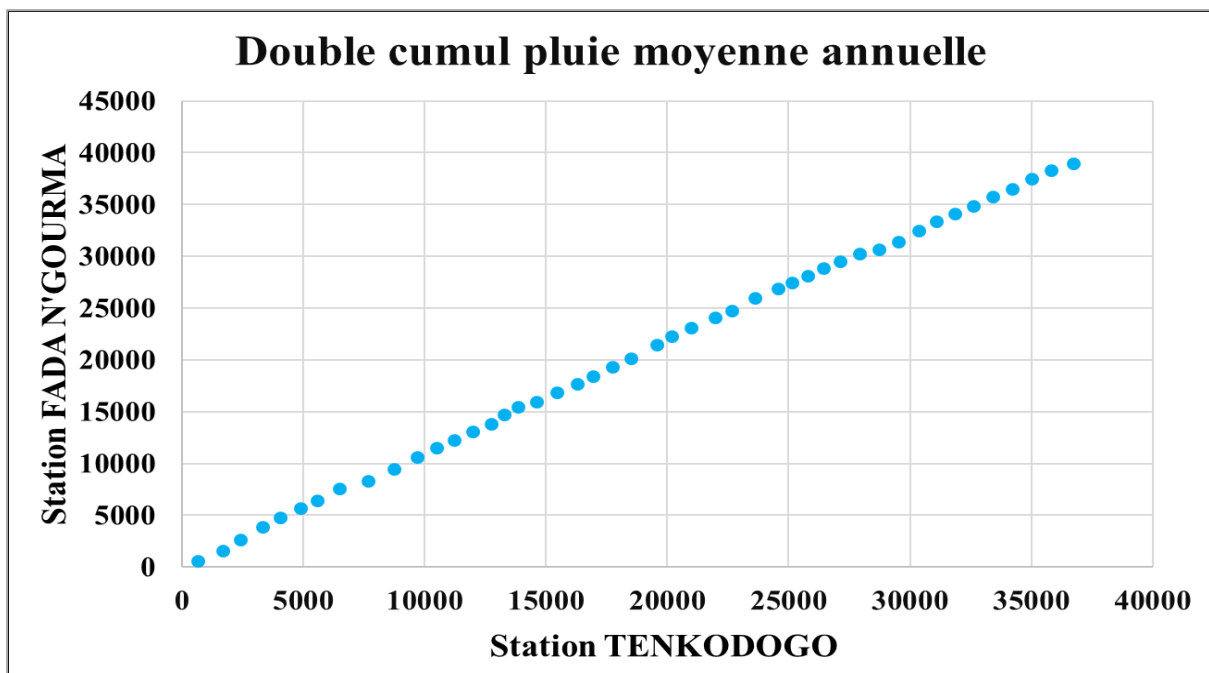


Figure 7 : Double cumul de la pluie moyenne annuelle

L'examen des Figure 6 et Figure 7 révèle que les données corrigées ne présentent pas de périodes douteuses. On constate une corrélation intéressante entre la station de Tenkodogo et celle de Fada N'gourma situées dans le même régime climatique.

#### 4.4.2. Caractéristiques de l'échantillon

Le Tableau 6 présente les caractéristiques des échantillons après traitement.

Tableau 6 : Caractéristique de l'échantillon de la pluie

| Paramètre                    | Résultat               |                            |
|------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Echantillon                  | Pluie moyenne annuelle | Pluie maximale journalière |
| Station pluviométrique       | Tenkodogo              |                            |
| Période de la série          | 1970 – 2017            |                            |
| Taille de l'échantillon      | 48                     |                            |
| Valeur maximale [mm]         | 1 171                  | 148                        |
| Valeur minimale [mm]         | 543                    | 37                         |
| Valeur moyenne [mm]          | 807                    | 64                         |
| Ecart type [mm]              | 142                    | 21                         |
| Coefficient de variation [%] | 18                     | 31                         |

On constate à partir de l'analyse du Tableau 6 une faible dispersion autour de la moyenne des valeurs de la pluie annuelle par rapport à la pluie journalière maximale marquée respectivement par des coefficients de variation de 18% et 31%.

#### 4.4.3. Résultats de l'analyse fréquentielle

Les résultats de l'analyse fréquentielle sont reportés dans le Tableau 7. Les valeurs des pluies ont été estimées avec un intervalle de confiance dont le seuil de tolérance a été fixé à 95% (les détails sont présentés en ANNEXE 4).

Tableau 7 : Synthèse des résultats de l'analyse fréquentielle

| Période        | Période de retour (année) | Pluie journalière maximale (mm) | Pluie moyenne annuelle (mm) |
|----------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <b>Humide</b>  | 100                       | 133                             | 1 137                       |
|                | 50                        | 121                             | 1 098                       |
|                | 20                        | 106                             | 1 040                       |
|                | 10                        | 95                              | 989                         |
|                | 5                         | 82                              | 927                         |
| <b>M diane</b> | <b>2</b>                  | <b>64</b>                       | <b>807</b>                  |
| <b>S che</b>   | 5                         | 50                              | 688                         |
|                | 10                        | 45                              | 626                         |
|                | 20                        | 40                              | 575                         |
|                | 50                        | 36                              | 517                         |
|                | 100                       | 33                              | 478                         |

## 4.5. Etude hydrologique

### 4.5.1. Caractéristiques du bassin versant

#### ▪ Limites et paramètres morphologiques du bassin versant

Le bassin versant du barrage de Kobr  couvre une superficie de **10,7 km<sup>2</sup>** avec un périmètre de **15,5 km** que l'on peut qualifier de très petits bassins versant. L'indice de compacité ( $K_G$ ) est de **1,3** ( $K_G > 1,1$ ) ce qui nous donne un bassin versant allongé. La pente longitudinale ( $I$ ) est estimée à **8 m/km** ( $5 \text{ m/km} < I < 10 \text{ m/km}$ ), nous avons donc un bassin de classe **R3** marqué par une pente modérée et un relief faible. L'indice global de pente corrigée est de **6,3 m/km**. La Figure 8 présente la carte du bassin versant.

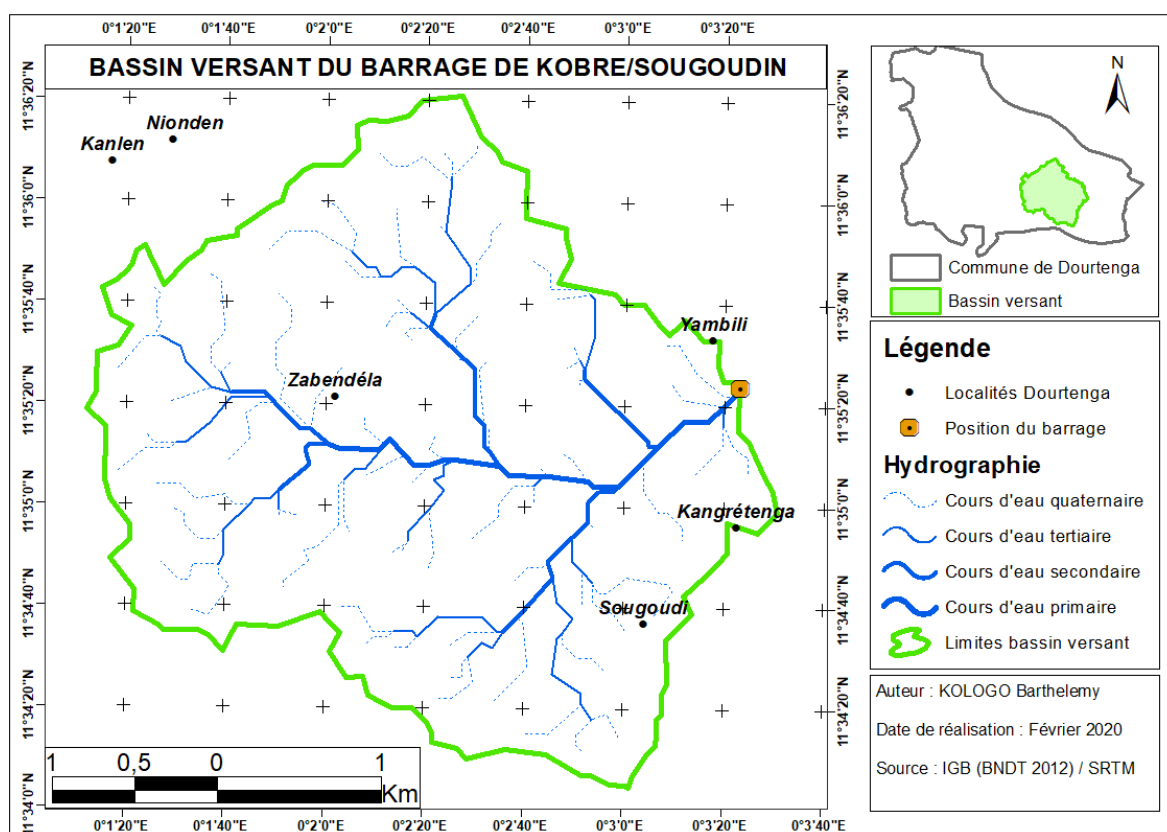


Figure 8 : Bassin versant du barrage de Kobr 

#### ▪ Classe de perméabilité du bassin

La géologie du bassin versant du barrage de Kobr  est constituée d'un mélange, à des proportions plus ou moins équivalentes, de formation de type perméable et imperméables (Illustration 6). Il est donc identifiable à un bassin relativement imperméable (**RI**) selon les classes d'infiltrabilité définies par RODIER et AUVREY.

### ▪ Synthèse des principales caractéristiques du bassin versant

Les principaux paramètres du bassin versant sont résumés dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Synthèse des caractéristiques du bassin versant

| Désignation                      | Symbole                                          | Unité           | Valeur |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------|--------|
| Surface                          | S                                                | Km <sup>2</sup> | 10,7   |
| Périmètre                        | P                                                | Km              | 15,5   |
| Longueur rectangle équivalent    | L <sub>eq</sub>                                  | Km              | 6      |
| Longueur cours d'eau principal   | L <sub>cp</sub>                                  | Km              | 4,5    |
| Pente longitudinale              | I                                                | m/km            | 8      |
| Altitude maximale                | Z <sub>max</sub>                                 | m               | 320    |
| Altitude minimale                | Z <sub>min</sub>                                 | m               | 283    |
| Altitude à 5% de la surface      | Z <sub>5%</sub>                                  | m               | 312    |
| Altitude à 95% de la surface     | Z <sub>95%</sub>                                 | m               | 290    |
| Indice global de pente           | I <sub>g</sub>                                   | m/km            | 3,7    |
| Indice de pente transversale     | I <sub>t</sub>                                   | m/km            | 11,50  |
| Indice globale de pente corrigée | I <sub>gcorr</sub>                               | m/km            | 6,3    |
| Indice de compacité              | I <sub>comp</sub>                                | -               | 1,3    |
| Dénivelée spécifique             | DS                                               | -               | 20,6   |
| Longueur totale des cours d'eau  | L <sub>cr</sub>                                  | km              | 38,8   |
| Dénivelée spécifique             | Ds                                               | m/km            | 20,6   |
| Classe de relief et perméabilité | Relativement imperméable, Pente modérée : RI, R3 |                 |        |
| Régime hydrologique selon Rodier | Tropical sèche (Pan > 750 mm)                    |                 |        |

### 4.5.2. Estimation de la crue du projet

#### ▪ Crue décennale

Les résultats du calcul de la crue décennale à partir des méthodes ORSTOM et CIEH sont consignés dans le Tableau 9.

Tableau 9: Synthèse des résultats de calcul de la crue décennale

| Désignation                                       |                           | Symbole          | Unité             | Valeur |
|---------------------------------------------------|---------------------------|------------------|-------------------|--------|
| Coefficient d’abattement spatial                  |                           | A                | -                 | 0,87   |
| Coefficient de ruissèlement par la méthode OSRTOM | Calculé                   | K <sub>r10</sub> | %                 | 26,3   |
|                                                   | Corrigé (check list 3a4a) |                  |                   | 32     |
| Coefficient de ruissèlement par la méthode CIEH   |                           | K <sub>r10</sub> | %                 | 26     |
| Temps de base de la crue décennale                |                           | T <sub>b10</sub> | min               | 622,18 |
| Temps de montée de la crue décennale              |                           | T <sub>m10</sub> | min               | 205,32 |
| Coefficient de pointe de la crue décennale        |                           | α <sub>10</sub>  | -                 | 2,6    |
| Coefficient de majoration du débit                |                           | m                | -                 | 1,03   |
| Crue décennale par la méthode ORSTOM              |                           | Q <sub>10</sub>  | m <sup>3</sup> /s | 20     |
| Crue décennale par la méthode CIEH                | Calculé                   |                  |                   | 28,8   |
|                                                   | Corrigé (check list 3a1b) |                  |                   | 26     |
| Crue décennale retenue (méthode CIEH)             |                           |                  |                   |        |

L'examen du Tableau 9 montre que les coefficients de ruissellement obtenus par la méthode ORSTOM et CIEH sont respectivement de 26,3% et 26%. Cependant, la valeur issue de la méthode ORSTOM a été augmentée de 20% conformément à la « *check list 3a4a<sup>5</sup>* ». En effet, il s'agit d'un petit bassin versant dont une grande partie est occupée par des cultures de type traditionnel sans mesures particulières de conservation des eaux, ce qui contribue à augmenter le ruissèlement. La valeur définitive adoptée pour la suite des travaux est donc celle corrigée, en l'occurrence  $K_{r10}$  égale à 32%.

Par ailleurs, le réseau hydrographique présente trois ensembles de cours d'eau comme le montre la Figure 8, laissant présager un décalage de leurs apports respectifs. En utilisant la méthode CIEH, la « *check list 3a1b* » recommande la réduction du débit obtenu d'un coefficient dont le maximum est fixé à 30% sur des bassins observés. Nous avons retenu une réduction de 10% après avoir examiné des études de cas réalisées dans le cadre du manuel. Le débit décennal corrigé pour la méthode CIEH s'élève ainsi à 26 m<sup>3</sup>/s.

Enfin, étant donné que le barrage est un ouvrage de sécurité, nous avons choisi la plus grande valeur du débit donnée par les deux méthodes (ORSTOM et CIEH). C'est alors que le débit décennal retenu pour l'estimation de la crue du projet est celui donné par la méthode CIEH qui s'élève à 26 m<sup>3</sup>/s.

#### ▪ **Crue du projet**

Sur la base des recommandations des services compétents en charge des aménagements hydrauliques et des difficultés liées à la mobilisation des ressources financières pour la réalisation des ouvrages, la politique imposée par les autorités burkinabés s'oriente vers une période de retour de 100 ans pour ce type de barrage. Les résultats du calcul de la crue centennale, considérée comme crue de projet, sont résumés dans le Tableau 10.

Tableau 10: Synthèse des résultats de la crue du projet

| Désignation                                     | Symbole                     | Unité                  | Valeur    |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------|
| Crue décennale                                  | $Q_{10}$                    | m <sup>3</sup> /s      | 26        |
| Coefficient du GRADEX                           | C                           | -                      | 2,16      |
| Crue centennale calculée                        | $Q_{100}$                   | m <sup>3</sup> /s      | 56,12     |
| <b>Crue centennale retenue : Crue de projet</b> | <b><math>Q_{100}</math></b> | <b>m<sup>3</sup>/s</b> | <b>56</b> |

<sup>5</sup> La «*Check list*» est un guide de correction utilisé dans la détermination des crues. Elle permet d'orienter l'utilisateur vers la ou les méthodes les plus pertinentes et d'ajuster les paramètres qui influencent les crues afin de tenir compte des particularités spécifiques de chaque bassin versant. Elle est contenue dans le manuel de la FAO bulletin 54 dans sa rubrique Annexe.

La crue de projet est l'un des paramètres essentiels dans la réalisation d'un barrage car cela y va de la sécurité de l'ouvrage, des personnes et de leurs biens. Son estimation est d'autant plus délicate que le choix de certains paramètres est laissé à l'appréciation du projeteur, qui parfois, demande assez d'expérience et une bonne connaissance de la zone.

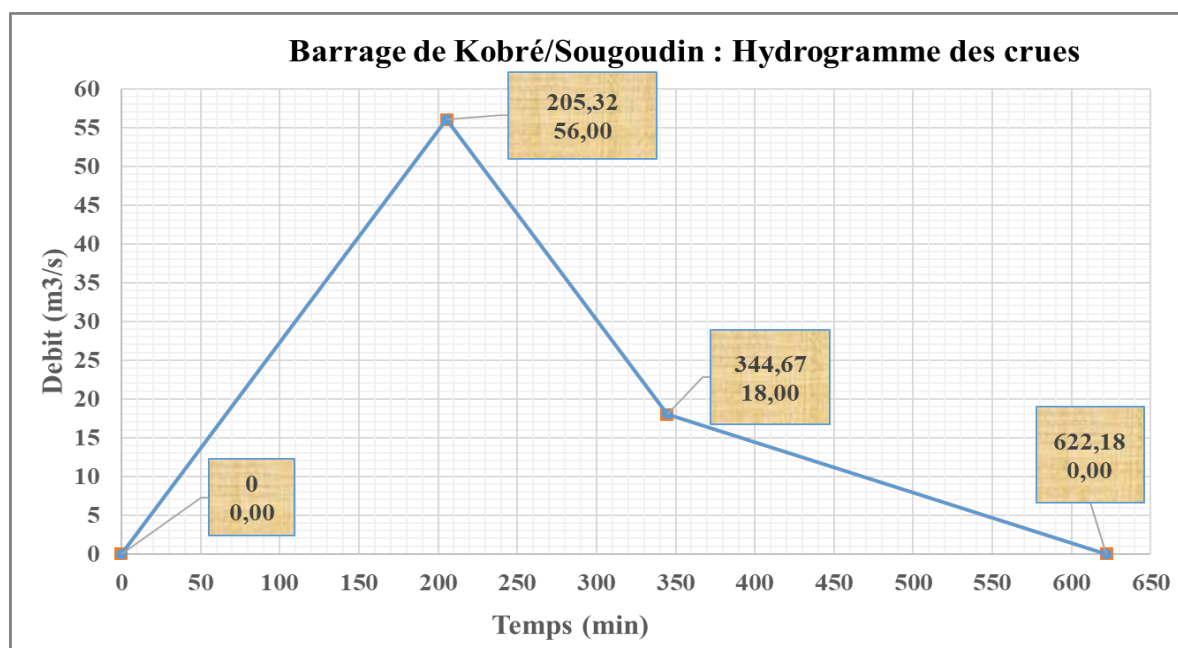
A travers la démarche que nous avons proposée, notamment l'utilisation des méthodes de l'ORSTOM et CIEH, nous avons retenu le débit donné par la méthode CIEH pour plus de sécurité car celui-ci est plus important. Par la suite, la méthode du GRADEX nous a permis d'évaluer le débit du projet. Cependant, pour mieux infirmer ou confirmer nos résultats, nous avons exploité d'autres travaux menés par le CIEH pour apprécier l'écart entre ces résultats et les nôtres. L'étude en question menée par GRESILLON, HERTER et LAHAYE a permis d'établir des courbes qui présentent les ordres de grandeurs des paramètres en fonction du régime climatique que l'on retrouve dans la référence bibliographique [17]. Nous avons remarqué que nos résultats obtenus sont corroborés par ceux des auteurs ci-dessus cités avec des écarts relativement acceptables comme nous montre la synthèse dans le Tableau 11 (les détails sont en ANNEXE 5).

Tableau 11 : Résumé d'étude comparative de la crue du projet

| Désignation                   | Etude CIEH [17]      | Nos résultats        | Ecart absolu           |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| Temps de montée ( $T_{m10}$ ) | 2,8 h                | 3,4 h                | + 0,60 h               |
| Débit décennal ( $Q_{10}$ )   | 23 m <sup>3</sup> /s | 26 m <sup>3</sup> /s | + 3 m <sup>3</sup> /s  |
| Coefficient du GRADEX (C)     | 2,1                  | 2,16                 | + 0,06                 |
| Débit centennal ( $Q_{100}$ ) | 45 m <sup>3</sup> /s | 56 m <sup>3</sup> /s | + 11 m <sup>3</sup> /s |

#### 4.5.3. Hydrogramme de crue

L'hydrogramme de crue présente l'évolution de la crue dans le temps et se caractérise par le débit maximum de la crue du projet, son temps de monté et de base ainsi que le débit de discontinuité. Le Graphique 2 montre la représentation schématique de l'hydrogramme de crues (les détails sont en ANNEXE 5).



Graphique 2 : Hydrogramme schématique des crues

#### 4.5.4. Apports liquides du bassin versant

L'utilisation de la méthode de RODIER et celle de COUTAGNE donne les résultats présentés dans le Tableau 12.

Tableau 12 : Apports liquides du bassin versant

| Désignation                |                               | Annuelle  | Quinquennale sèche | Décennale sèche |
|----------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------|-----------------|
| <b>Bassin versant</b>      | Superficie (km <sup>2</sup> ) | 10,7      |                    |                 |
|                            | Pluie (mm)                    | 807       | 688                | 625             |
| <b>Méthode de RODIER</b>   | Ke (%)                        | 11,40     | 8                  | 5,7             |
|                            | Apports (m <sup>3</sup> )     | 983 964   | 587 433            | 381 635         |
| <b>Méthode de COUTAGNE</b> | Ke (%)                        | 17,10     | 12                 | 8,6             |
|                            | Apports (m <sup>3</sup> )     | 1 476 348 | 881 389            | 572 608         |

L'examen du Tableau 12 montre qu'en année moyenne, le volume obtenu par la méthode de RODIER ne permet pas de remplir le barrage dont la capacité projetée est de 1 000 000 m<sup>3</sup> contrairement à la méthode de COUTAGNE qui donne un volume largement supérieur. Cette différence pourrait provenir, dans le cas de la méthode de RODIER, du fait que c'est une méthode graphique qui va engendrer un nombre important d'incertitudes. La méthode de COUTAGNE qui est basée sur une approche climatique pourrait se rapprocher beaucoup plus de la réalité. De ce fait, nous considérons dans nos projections le volume annuel obtenu par la méthode de COUTAGNE.

#### 4.5.5. Etude de la cuvette du barrage

##### ▪ Evaluation des besoins

Les besoins (humains, agricoles et pastoraux) ont été évalués à 371 435 m<sup>3</sup> entre le mois de novembre et avril correspondant à la période pendant laquelle la retenue est sollicitée. Pour le volet agricole, une estimation des besoins en eau a été faite pour chaque type de culture à l'issue de laquelle l'oignon représente la culture la plus consommatrice d'eau. Une simulation a été faite pour aboutir à une superficie exploitable de 20 ha à partir de laquelle les besoins agricoles ont été évalués. La synthèse des résultats sont présentés dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Synthèse des besoins en eau

| Besoins                          | Nov.          | Déc.          | Janv.         | Fév.          | Mar.          | Avr.          | Total          |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| <b>Agricole (m<sup>3</sup>)</b>  | 32 400        | 53 400        | 60 400        | 57 600        | 55 200        | 48 800        | <b>307 800</b> |
| <b>Pastoraux (m<sup>3</sup>)</b> | 4 530         | 4 681         | 4 681         | 4 228         | 4 681         | 4 530         | <b>27 331</b>  |
| <b>Humains (m<sup>3</sup>)</b>   | 6 017         | 6 218         | 6 218         | 5 616         | 6 218         | 6 017         | <b>36 304</b>  |
| <b>Total</b>                     | <b>37 148</b> | <b>58 306</b> | <b>65 306</b> | <b>62 031</b> | <b>60 106</b> | <b>53 548</b> | <b>371 435</b> |

##### ▪ Evaluation des pertes

Les pertes dues à l'infiltration et à l'évaporation entre le mois de novembre et avril, période pendant laquelle la retenue est sollicitée, sont résumées dans le Tableau 14. Les dépôts solides, estimés à l'horizon du projet (30 ans), sont consignés dans le Tableau 15.

Tableau 14 : Pertes par infiltration et évaporation au niveau de la cuvette

| Pertes                   | Nov. | Déc. | Janv. | Fév. | Mar. | Avr. | Total      |
|--------------------------|------|------|-------|------|------|------|------------|
| <b>Infiltration (mm)</b> | 46   | 47   | 47    | 43   | 47   | 46   | <b>276</b> |
| <b>Evaporation (mm)</b>  | 135  | 141  | 144   | 137  | 152  | 150  | <b>859</b> |

Tableau 15 : Pertes par dépôts solides au fond de la cuvette

| Auteur formule    | Dégradation spécifique<br>(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /an) | Dépôt annuel<br>(m <sup>3</sup> /an) | Dépôt en 30 ans<br>(m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>GRESILLON</b>  | 192                                                             | 2 054                                | 61 620                               |
| <b>GOTTSCHALK</b> | 205                                                             | 2 194                                | 65 848                               |
| <b>KARAMBIRI</b>  | 142                                                             | 1 515                                | 45 455                               |

En examinant le Tableau 15, on constate que les formules de GOTTSCHALK et GRESILLON donnent des valeurs élevées par rapport à celle de KARAMBIRI. Généralement, les projeteurs utilisent la valeur moyenne donnée par les trois formules.

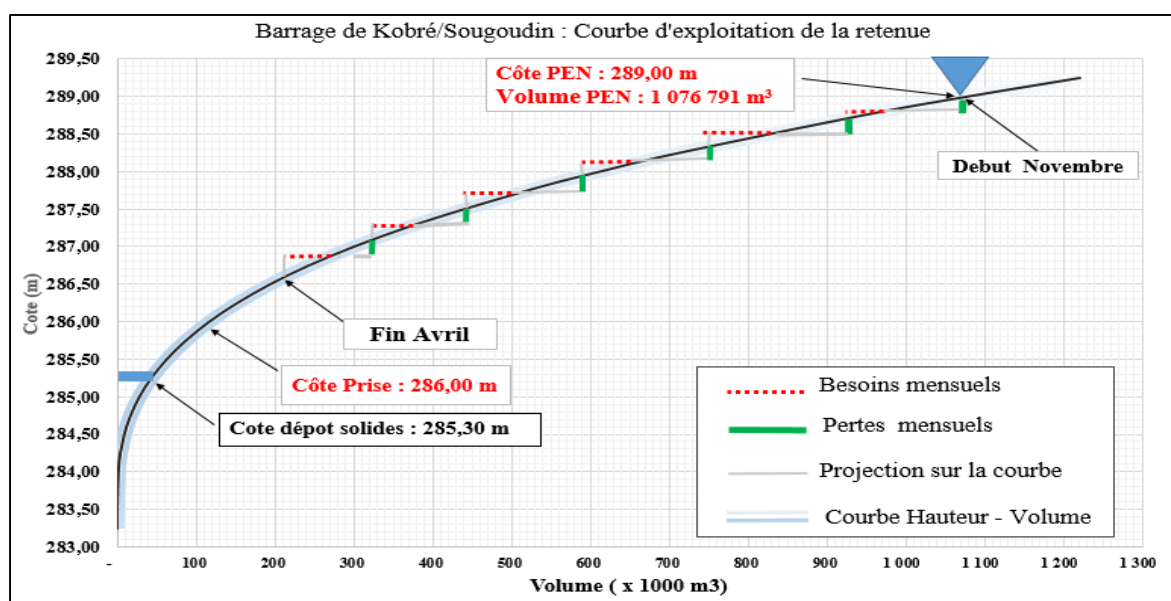
Cependant, en rapport avec les aménagements en aval qui sont prévus, nous tenons compte de la situation la plus défavorable qui puisse arrivée pendant la durée de vie de l'ouvrage. Dans ce sens, le calage de la prise d'eau a tenu compte de la côte imposée par la valeur la plus élevée des dépôts donnés par la formule de GOTTSCHALK et qui s'élève à 65 848 m<sup>3</sup>.

### ■ Simulation de l'exploitation de la retenue

La simulation prend en compte d'une part les pertes ( vaporation, infiltration et dépôts) et d'autre part les besoins (humains, pastoraux et agricoles). Les pertes estimées en « mètre » par mois, sont construites verticalement tandis que les besoins ou consommations, estimées en « m<sup>3</sup> » par mois, sont construites horizontalement. Pour l'approche de cette simulation, il est retenu les hypothèses suivantes :

- L'arrêt effectif des pluies se situe en fin octobre et à cette date, le barrage est rempli à la côte du déversoir et contient en ce moment 1 076 791 m<sup>3</sup> d'eau ;
- Pendant les mois de juin, juillet, août, septembre et octobre, les prélèvements dans la retenue sont compensés par les eaux de pluies et ne sont donc pas sensibles ;
- A partir de novembre, c'est à dire vers la fin de la saison des pluies, les prélèvements commencent à être sensibles sur la retenue au regard de la faiblesse ou l'absence de de la pluviométrie.

On suppose que les prélèvements dans la retenue commencent de façon sensible le 1<sup>er</sup> novembre. Le Graphique 3 présente l'exploitation de la retenue dans la période considérée.



Graphique 3 : Simulation de l'exploitation de la retenue

## ▪ Synthèse des résultats

Les résultats issus de l'étude de la cuvette ainsi que la simulation de l'exploitation de la retenue sont résumés dans le Tableau 16 et Tableau 17.

Tableau 16 : Résultats des volumes après simulation

| Désignation                                              | Valeur           | Volume/volume mobilisé |
|----------------------------------------------------------|------------------|------------------------|
| <b>Volume mobilisé à la côte PEN (m<sup>3</sup>)</b>     | <b>1 076 791</b> | <b>100%</b>            |
| Pertes par évaporation et infiltration (m <sup>3</sup> ) | 493 894          | 46%                    |
| Pertes dues au dépôts des sédiments (m <sup>3</sup> )    | 65 848           | 6%                     |
| Volume exploité tout usage confondu (m <sup>3</sup> )    | 371 435          | 34%                    |
| Volume restant dans la cuvette (m <sup>3</sup> )         | 148 261          | 14%                    |

Tableau 17 : Résultats des côtes des ouvrages après simulation

| Côte                                                       | Valeur        |
|------------------------------------------------------------|---------------|
| Côte de calage du déversoir au plan d'eau normal (m)       | 289,00        |
| Côte de fin exploitation de la retenue en avril (m)        | 286,60        |
| Côte morte due aux dépôts solide au fond de la cuvette (m) | 285,30        |
| Marge de sécurité entre dépôt et côte fin exploitation (m) | 1,30          |
| <b>Côte de calage de la prise d'eau (m)</b>                | <b>286,00</b> |

De l'examen du Tableau 16 issus de la simulation de l'exploitation de la retenue, il ressort que les pertes (infiltration + évaporation + dépôt solide) représentent 52% du volume mobilisé. Quant aux besoins, ils représentent 34% et la marge de sécurité pouvant être considéré comme volume d'eau disponible pour le maintien de l'écosystème aquatique est estimé à 14% du volume total mobilisé.

Le Tableau 17 nous renseigne sur les différentes côtes obtenues suivants les volumes mobilisés, exploités ou perdus. Nous constatons que le déversoir calé à la côte 289,00 m permet de mobiliser un volume de 1 076 791 m<sup>3</sup>. Ce volume satisfait l'ensemble des besoins dont une superficie d'au moins 20 ha avec une prise d'eau calée à la côte **286,00 m**. Nous remarquons que la retenue ne se vide pas entièrement à la fin de la campagne, ce qui laisse une certaine marge de manœuvre si toute fois le barrage devra être sollicité pour l'irrigation d'appoint ou même une extension du périmètre au-delà de 20 ha. Par ailleurs, le volume restant pourrait également garantir la reproduction et le maintien des espèces aquatiques telles que les poissons en vue de promouvoir la pêche dans les localités de la zone de projet.

## 4.6. Conception et dimensionnement des ouvrages

### 4.6.1. La digue

#### 4.6.1.1. Caractéristiques de la digue

La Figure 9 présente le profil type de la digue au niveau du lit mineur et la Figure 10 pour le lit majeur. Les caractéristiques de la digue sont résumées dans le Tableau 18. Le détail de la note de calcul se trouve en **ANNEXE 6**.

Tableau 18 : Synthèse des résultats de la digue

| Paramètre                                                | Unité | Valeur        |
|----------------------------------------------------------|-------|---------------|
| <b>Corps du remblai</b>                                  |       |               |
| Côte au Plan d'Eau Normal                                | m     | 289,00        |
| Hauteur de la retenue au plan d'eau normal               | m     | 5,00          |
| Revanche libre                                           | m     | 0,80          |
| Revanche totale                                          | m     | 1,60          |
| Hauteur de la digue                                      | m     | 7,50          |
| Largeur en crête de la digue                             | m     | 4,50          |
| Hauteur maximale totale de la digue                      | m     | 7,70          |
| Côte de la crête de la digue                             | m     | 290,95        |
| Largeur en base de la digue                              | m     | 34,50         |
| Longueur totale de la digue sans le déversoir            | m     | 995           |
| Pentes de talus aval et amont                            | -     | 1V/2H         |
| Perméabilité du matériau argileux du remblai de la digue | m/s   | $1,7.10^{-8}$ |
| <b>Protection de la digue</b>                            |       |               |
| Epaisseur de la couche de couronnement                   | m     | 0,20          |
| Epaisseur de protection des talus amont et aval          | m     | 0,50          |
| Dimensions des murets de crête (Largeur x Hauteur)       | m x m | 0,50 x 0,50   |
| <b>Drain</b>                                             |       |               |
| Epaisseur du drain                                       | m     | 0,20          |
| Longueur du drain                                        | m     | 10,00         |
| Perméabilité du drain en matériau sableux                | m/s   | $10^{-4}$     |
| <b>Tranchée d'encrage</b>                                |       |               |
| Largeur en base de la prétranchée au Bulldozer           | m     | 3,5           |
| Pentes de talus de la prétranchée au Bulldozer           | -     | 3V/1H         |
| Hauteur maximale de la prétranchée au Bulldozer          | m     | 5,50          |
| Hauteur maximale de la tranchée manuelle                 | m     | 1,50          |
| Largeur de la tranchée manuelle                          | m     | 1,00          |

Après étude, on obtient une digue de longueur 995 m (sans déversoir), avec une hauteur maximale de 7,5 m et une largeur en cr te de 4,5 m. Le remblai est stable avec des pentes 1V/2H en amont comme en aval. La digue est protégée par une couche de couronnement latéritique de 20 cm d'épaisseur et un muret de 50 cm au niveau de la cr te, et les parements par du perré dont l'amont est maçonné. Un drain horizontal d'épaisseur 20 cm permet d'évacuer les eaux qui s'infiltrent dans le corps du remblai. La fondation au niveau du lit mineur s'étend sur 100 m par une prétranchée au bulldozer approfondie par une tranchée creusée manuellement ou à la pelle hydraulique. Au niveau du lit majeur et les rives, on aura une tranchée creusée au bulldozer de profondeur variable avec une largeur de fond de 3,5 m.

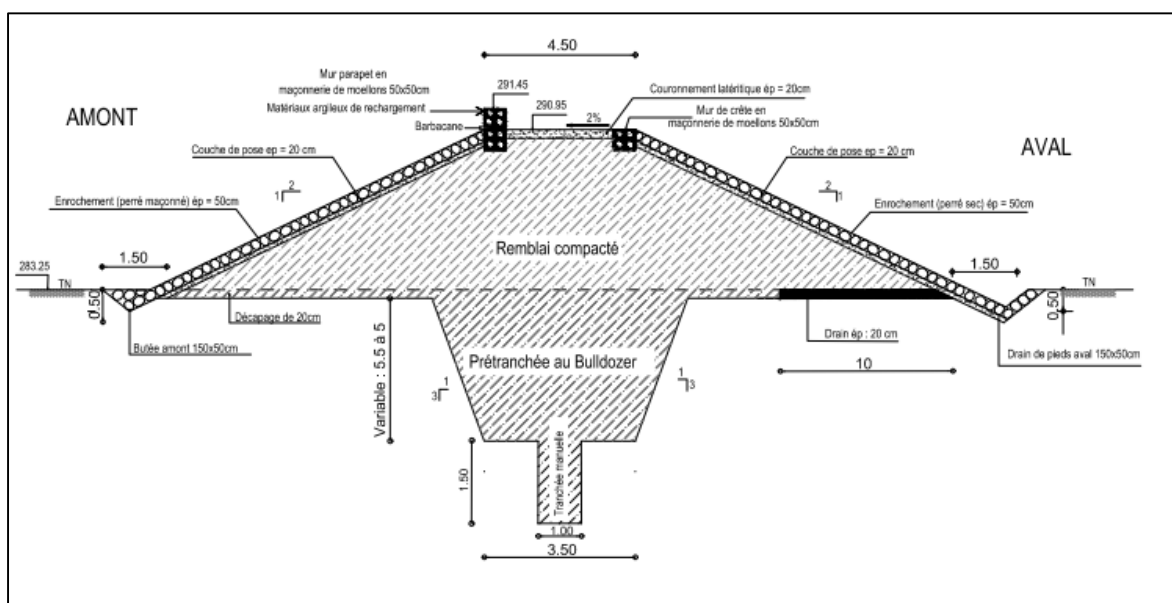


Figure 9 : Profil type de la digue au niveau du lit mineur

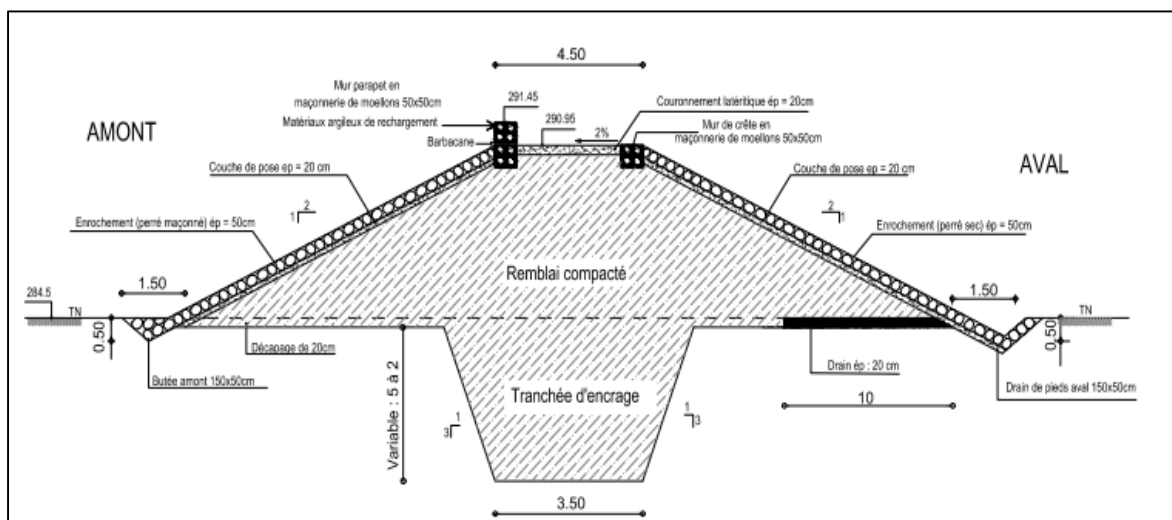


Figure 10 : Profil type de la digue en dehors du lit mineur

#### 4.6.1.2. Dispositions constructives et protection des talus

Le parement amont sera en perré maçonné afin de protéger le corps du remblai face aux effets des vagues. La pose se fera manuellement sur une couche de transition filtrante en matériau graveleux d'une épaisseur de 20 cm. La réalisation du perré se fait du bas vers le haut, en prenant appui sur la butée de pied.

Le parement aval pourra être protégé par du perré sec soigneusement mise en place manuellement de sorte à ce que les blocs soient imbriqués les uns dans les autres. Le blocage des moellons avec des éclats de roche améliore la tenue du perré et la protection de la couche de transition sous-jacente. La butée de pied en aval pourra être fait en enrochement revêtus pour l'évacuation des eaux drainées.

La crête est protégée d'un couronnement en matériau latéritique d'une épaisseur de 20 cm avec un dévers de 2% vers l'amont pour l'évacuation des eaux de ruissellement sur la crête par le biais de collecteur.

La stabilité des pentes de la digue est vérifiée avec un facteur de sécurité qui s'élève à 3,6 contre une valeur minimale de 1,2 selon la méthode de Bishop. Nous pouvons retenir donc la valeur de 1V/2H comme pente des talus sans craindre le risque d'instabilité de ceux-ci.

#### 4.6.2. L'évacuateur de crue

##### 4.6.2.1. Caractéristiques du déversoir

La Figure 11 présente la coupe transversale de l'évacuateur de crue. Il est de type déversoir poids en béton cyclopéen placé au niveau du lit mineur pour permettre la restitution de l'eau directement dans le lit normal. Ses caractéristiques sont présentées dans le Tableau 19.

Tableau 19 : Synthèse des résultats de calcul du déversoir

| Désignation                   | Unité | Valeur         | Observation                                            |
|-------------------------------|-------|----------------|--------------------------------------------------------|
| Type de déversoir             | -     | Poids en béton | Profil trapézoïdale                                    |
| Position du déversoir         | -     | Centrale       | Restituer l'eau directement dans le lit du cours d'eau |
| Lame d'eau au-dessus du seuil | m     | 0,75           | Seuil recommandé pour ce type de déversoir             |
| Paroi amont                   | -     | Verticale      |                                                        |
| Longueur du déversoir         | m     | 35             | Obtenue après laminage de l'hydrogramme de crues       |

| Désignation                                           | Unité             | Valeur | Observation                                                                   |
|-------------------------------------------------------|-------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Contrainte caractéristique du béton à 28 jours (Fc28) | MPa               | 20     |                                                                               |
| Poids volumique du béton                              | kN/m <sup>3</sup> | 24     |                                                                               |
| Hauteur maximale                                      | m                 | 5      | Ces dimensions vérifient les différentes conditions de stabilité du déversoir |
| Largeur en crête                                      | m                 | 1      |                                                                               |
| Angle du talus                                        | °                 | 60     |                                                                               |

L'étude de la stabilité participe au dimensionnement du déversoir dont la sécurité repose essentiellement sur son poids. Il s'agit donc de lui donner les dimensions de manière à ce que son poids puisse supporter les actions déstabilisatrices. Après vérification, nous avons conclu que le dimensionnement géométrique proposé permet d'assurer un fonctionnement du déversoir sans risque d'instabilité majeures conformément aux conditions utilisées (détails en ANNEXE 7).

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

Il s'agit d'un bassin à ressaut de type II selon la classification de l'USBR et permet de passer d'un régime d'écoulement torrentiel à un régime fluvial correspondant aux conditions d'écoulement dans le lit de restitution. Il est muni de blocs de chutes, de blocs chicanes et un seuil terminal. Les résultats sont résumés dans le Tableau 20 (détails en ANNEXE 8).

Tableau 20 : Caractéristiques du bassin de dissipation

| Bassin de dissipation    |       |                     |                             |            |
|--------------------------|-------|---------------------|-----------------------------|------------|
| Enfoncement              | Type  | Tirant d'eau normal | Largeur                     | Longueur   |
| 1 m                      | II    | 0,75 m              | 35 m                        | 3 m        |
| Blocs de chute           |       |                     |                             |            |
| Hauteur                  |       | Largeur en Base     | Espacement                  |            |
| 0,10 m                   |       | 0,10 m              | 0,10 m                      |            |
| Blocs chicane            |       |                     |                             |            |
| Hauteur                  | Pente | Epaisseur en crête  | Largeur                     | Espacement |
| 0,25 m                   | 1V/1H | 0, 05 m             | 0,20 m                      | 0,20 m     |
| Seuil terminal du bassin |       |                     |                             |            |
| Pente                    |       | Hauteur             | Longueur de protection aval |            |
| 1V/2H                    |       | 1 m                 | 6 m (enrochement et gabion) |            |

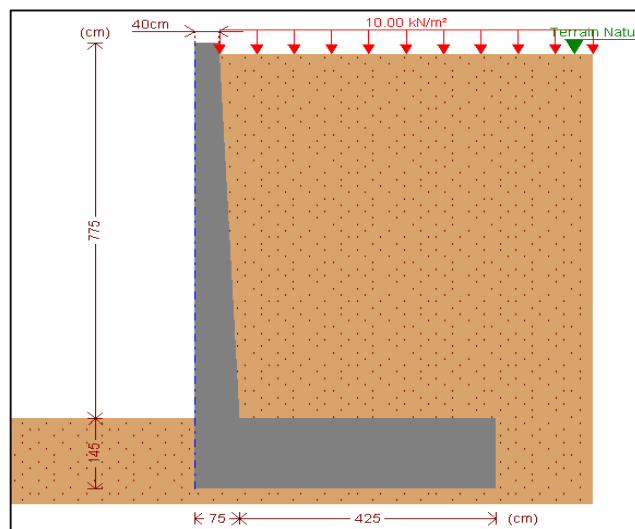
Le bassin permet la dissipation de 75% de l'énergie de l'eau et il est nécessaire de revêtir l'aval avec des enrochements et/ou des gabions sur une certaine distance [13]. Nous optons pour une protection en gabions et en enrochements du chenal de section rectangulaire sur une longueur minimale égale à deux fois celle du bassin de dissipation.

#### 4.6.2.3. Murs bajoyers

Le dimensionnement et la vérification des conditions de stabilités des murs bajoyers donne les résultats suivants (détails en ANNEXE 9) :

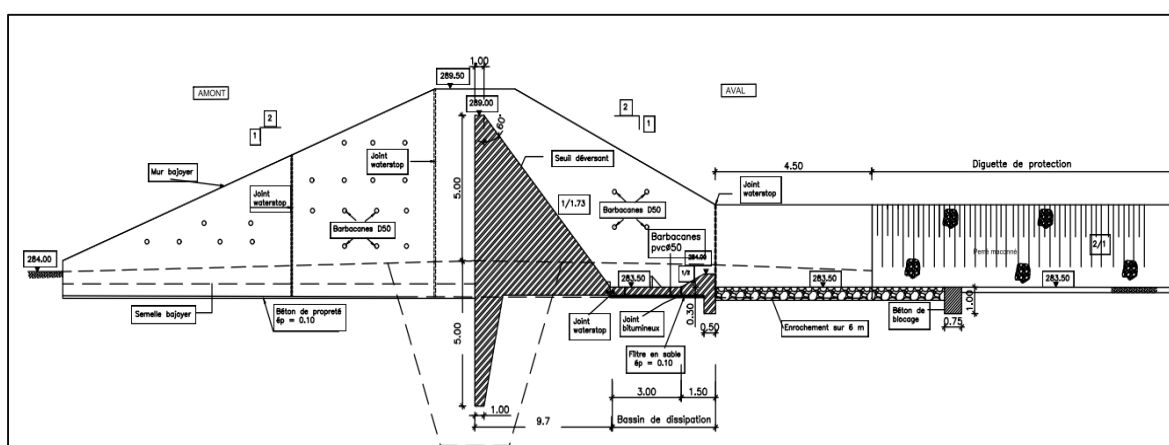
**Tableau 21** : Synthèse de dimensionnement des murs bajoyers

| Paramètre                   | Valeur (m) |
|-----------------------------|------------|
| Hauteur totale du mur       | 9,20       |
| Epaisseur en crête du voile | 0,40       |
| Epaisseur en base du voile  | 0,75       |
| Epaisseur de la semelle     | 1,45       |
| Largeur de la semelle       | 5,00       |
| Largeur du talon            | 4,25       |



#### 4.6.2.4. Dispositions constructives du déversoir

Il convient de réaliser d'abord le remblai sur toute la longueur en respectant les normes de compactage. Ensuite, l'on viendra creuser dans le remblai aux dimensions exactes du déversoir en prévoyant un écran afin d'allonger les cheminements hydrauliques éventuels au contact béton-remblai. L'écran ainsi que la face externe des bajoyers seront coulés pleine fouille de façon à améliorer le contact béton-remblai et prévenir tout risque de renard. Enfin, l'exécution du déversoir devra se faire en plusieurs plots de 5 m chacun et raccordés entre eux par des joints Waterstop.



**Figure 11** : Coupe transversale de l'évacuateur de crue

### **4.6.3. L'ouvrage de prise et de vidange**

Le débit d'équipement du périmètre en période de pointe est estimé à 3 l/s/ha. En prenant en compte la fonction de vidange, le temps optimal estimé est de 55 jours. De ces deux conditions, nous avons retenu une conduite en fonte de diamètre nominal 300 mm (DN300) comme ouvrage de prise et de vidange calé à la côte 286,00 m avec un débit maximal de 0,15 m<sup>3</sup>/s. Dans ce cas précis, on ne peut effectuer qu'une vidange partielle de la retenue étant donnée la côte de calage de la conduite. L'ouvrage se caractérise par :

- Un bac de réception en amont en béton armé protégé par une grille à mailles serrées et muni d'un escalier d'accès ;
- Une conduite en fonte DN 300 longue de 30 m et enterrée sous la digue dans un massif en béton ordinaire de 10 cm d'épaisseur. Au milieu de la digue, deux écrans anti-renard en béton armé sont également prévus et la conduite sera inclinée d'une pente de 0,5% vers l'aval, l'orifice en amont étant protégé par une crépine ;
- A la sortie, un bac de réception en béton armé comprenant une chambre de vanne, une chambre de réception, un mur d'impact destiné à briser l'énergie de l'eau et un escalier d'accès. La chambre des vannes est fermée par une grille de protection.

## **4.7. Impact environnemental et social du projet**

### **4.7.1. Analyse de l'état initial du site**

Dans sa globalité, la description de l'état initial du site concerne le cadre biophysique (climat, végétation, relief, sols, hydrographie, faune, flore, etc.) et le cadre humain (démographie, santé, éducation, aspects socio-économique, etc.). La plupart de ces éléments ont été déjà décrit ci haut dans la présentation de la zone d'étude à l'échelle communale ainsi que dans la partie portant sur l'étude socio-économique. En complément, nous relevons quelques détails permettant de préciser davantage l'état initial du site par rapport à l'occupation des terres et les pratiques existantes pouvant être impacter par le projet.

En effet, on distingue globalement deux types d'occupation des terres à savoir les habitations et les champs. Selon les enquêtes, on dénombre un certain nombre de concession répartie en 08 chefs de ménages situées à proximité immédiat ou dans la cuvette du barrage. L'habitat est de type traditionnel et fait en matériau locaux. A côté des habitations cohabitent deux infrastructures à l'occurrence un centre de santé et de promotion social (CSPS) et une école.

Tous les deux, situés non loin de la cuvette du barrage, méritent une attention particulière quant à la protection contre les hautes eaux. Le second type d'occupation des terres est la présence des champs agricoles de type pluvial. Au total, 41 propriétaires terriens ont été recensés comme étant dans l'emprise du barrage et du périmètre. Tous ont marqué un accord favorable pour la réalisation du barrage, qui selon eux, contribuera à l'amélioration de leurs conditions de vie. En entendant l'application effective de la loi sur le foncier rural au Burkina Faso, la gestion des terres au niveau du site du barrage demeure de type traditionnel où la transmission du patrimoine foncier est faite selon le lignage patriarcal.

En outre, le site à l'état actuel présente quelques objets et lieux sacrés traduisant l'attachement culturel des habitants. Les plus proches de l'emprise du barrage et du périmètre sont notamment 02 lieux sacrés (mare et roche) et 02 tombes familiaux. Ces sites ne sont pas directement impactés par la retenue mais nécessite leur prise en compte du fait de la proximité avec la cuvette.

#### 4.7.2. Identification des impacts

Il s'agit d'identifier les composantes du milieu récepteur susceptible d'être impacté par les activités en phase de construction et d'exploitation. Le Tableau 22 fait la synthèse des impacts identifiés (détails en ANNEXE 11).

Tableau 22 : Synthèse des impacts potentiels du projet

| Composante du milieu récepteur | Impact potentiel                                                                                                                           | Nature de l'impact |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>PHASE DE CONSTRUCTION</b>   |                                                                                                                                            |                    |
| Végétation et faune            | Perte de végétation et de l'abri des animaux                                                                                               | Négatif            |
| Sols                           | Dégradation, fragilisation et pollution du sol                                                                                             | Négatif            |
| Eaux de surface et souterraine | Surexploitation des réserves pour les besoins des travaux, pollution par les déchets liquides et solides                                   | Négatif            |
| Air et climat sonore           | Pollution atmosphérique par la poussière et les gaz carboniques issu des moteurs des engins, nuisances sonores.                            | Négatif            |
| Santé des populations          | Risque de maladie respiratoires (poussières et gaz des engins) et de propagation des infections sexuellement transmissibles                | Négatif            |
| CSPS et Ecole                  | Nuisances à l'endroit du personnel médical, des patients, des élèves et enseignants liés aux bruits des engins, les odeurs et la poussière | Négatif            |
| Emploi                         | Création d'emploi directs et indirects                                                                                                     | Positif            |

| <b>Composante du milieu récepteur</b> | <b>Impact potentiel</b>                                                                                                                                     | <b>Nature de l'impact</b> |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Economie local                        | Développement de l'économie locale, augmentation du pouvoir d'achat des populations travaillant sur le chantier, développement du commerce.                 | Positif                   |
| <b>PHASE D'EXPLOITATION</b>           |                                                                                                                                                             |                           |
| Végétation et faune                   | Développement de la végétation et la faune aquatique, accroissement des espèces hydrophile naturelles et des arbres fruitiers                               | Positif                   |
| Sols                                  | Modifications des propriétés physico-chimique des sols au niveau du périmètre lié aux labours et à l'utilisation des intrants agricoles et pesticides       | Négatif                   |
| Eaux de surface et souterraine        | Augmentation de la disponibilité de l'eau de surface, recharge possible des nappes                                                                          | Positif                   |
| Agriculture                           | Aménagement de 20 ha pour les cultures maraichères, renforcement des capacités techniques des exploitants, augmentation des revenus des populations         | Positif                   |
| Elevage                               | Disponibilité de l'alimentation pour le bétail et la fumure pour l'agriculture, développement de l'élevage, augmentation du pouvoir d'achat des populations | Positif                   |
| Pêche                                 | Développement de la pêche                                                                                                                                   | Positif                   |
| Climat social                         | Naissance de conflit d'usage                                                                                                                                | Négatif                   |
| Migration                             | Diminution de la migration saisonnière                                                                                                                      | Positif                   |
| Santé                                 | Accroissement des maladies liées à l'eau (paludisme, bilharziose)                                                                                           | Négatif                   |

#### **4.7.3. Plan de gestion environnemental et social**

Le PGES prend en compte la mise en œuvre des mesures d'atténuation, de compensation et d'accompagnement (les détails en ANNEXE 11).

##### **4.7.3.1. Mesures d'atténuation et de compensation**

Ces mesures concernent surtout la phase des travaux et la remise en état du site. Celles qui incombent à la responsabilité de l'entreprise doivent être prise en compte dans le cahier des charges des travaux. Les autres acteurs identifiés seront également amenés à agir selon leurs compétences. Les mesures concernent entre autres le respect des prescriptions environnementales et sociales de santé et de sécurité, la remise en état du site, la réalisation de reboisements de compensations, etc.

Des impacts ont été identifiés sur le foncier qui se traduisent par l'occupation actuelle du site (habitations et champs). Ce volet doit être traité de manière détaillée et spécifique dans le plan de réinstallation et prendra en compte les ménages susceptibles d'être inondés par les eaux et/ou ceux ayant perdu leurs terres agricoles. Cela devra se faire dans la concertation et avec la participation de la population et des autorités locales.

#### **4.7.3.2. Mesure de bonification et d'accompagnement**

Les mesures d'accompagnement comprennent le renforcement des capacités locales des exploitants à travers des formations en techniques agricoles et entretien des ouvrages, l'appui à l'organisation en association et groupement, la sensibilisation orientée dans la bonne utilisation des intrants et des pesticides agricoles ainsi que l'appui à l'équipement des producteurs.

### **4.8. Gestion durable des ouvrages**

La préoccupation essentielle pour un barrage en service doit être de connaître aussitôt que possible tous les incidents qui l'affectent de manière à parer à leurs conséquences dangereuses. La découverte des symptômes d'affaiblissement permet de prévenir leurs aggravations. La gestion durable des ouvrages passe par la mise en place d'un dispositif opérationnel dont nous proposons une configuration dans les lignes qui suivent.

#### **4.8.1. Proposition d'un schéma d'organisation**

Selon le document du PNAH, les ouvrages de cette nature à l'échelle communale peuvent être intégrés dans le plan communal de développement [18]. Nous proposons à cet effet un schéma d'organisation allant des bénéficiaires directes aux services techniques déconcentrés de la région. L'organisation proposée est de type « Comité de barrage » regroupant des représentants de tous les utilisateurs et des représentants des trois villages concernés par le projet. Le comité sera chargé d'assurer la surveillance et l'entretien périodique du barrage, veiller au respect de la réglementation en matière d'eau (limites de servitudes, régulation de l'utilisation de pesticides, etc.), veiller au respect du calendrier culturel et de percevoir une redevance auprès des différents utilisateurs de l'eau qui servira aux dépenses d'entretien et au financement des réparations.

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

#### **4.8.2. Dispositif de suivi**

Le dispositif de suivi regroupe les actions entreprises pour suivre l'évolution de certains aspects du barrage. La fréquence du suivi peut être ajustée en fonction de la saison, la durée de vie du barrage ou l'apparition de phénomènes inquiétants [14].

- **Suivi de la côte du plan d'eau**

Le barrage devra être équipé d'une batterie d'échelle limnimétrique permettant de suivre l'évolution du plan d'eau. Cela améliore la gestion de la retenue par une connaissance continue des volumes d'eau disponibles. C'est donc un instrument pour la planification des différents usages de la ressource. Les relevés des hauteurs d'eau se font de façon journalière et peut être assuré par un exploitant ou un membre du comité ayant reçu une formation à cet effet.

- **Suivi des débits**

Le suivi des débits est d'abord visuel mais peut être également fait par le biais d'instrument. Cela suppose un dispositif de collecte en aval au pied de la digue (fossé de pied, aménagement d'exutoire) que l'on a prévu dans la conception du barrage. Ce dispositif permettra de suivre le débit en aval du barrage et éventuellement évalué le risque que cela pourrait entraîner en fonction de son importance. Compte tenu de sa complexité, le suivi des débits peut être assuré par les services techniques.

- **Suivi des déplacements de la digue**

A la fin de la construction du barrage, il est également important de prévoir un dispositif de nivellement pour suivre le tassement de la digue dans le temps. Pour cela, l'on pourra placer sur la crête de la digue des bornes repères en béton bien ancrées dans le remblai. Ces bornes sont nivelées depuis des piliers d'observation placés sur les rives dans des endroits stable [13]. Cependant, le suivi des déplacements est plus utile à la mise en eau et pendant au moins les cinq premières années d'exploitation du barrage.

#### **4.8.3. Dispositif de surveillance**

Pour un barrage de cette taille, on peut prévoir comme dispositif de surveillance l'inspection et le contrôle des organes d'évacuation.

##### **▪ Inspection**

C'est une observation visuelle des différentes parties de l'ouvrage en vue de rechercher des indices de dégradations potentielles. Elle peut être conduite pour détecter les signes de détérioration du barrage (inspection de routine), lorsqu'une partie de l'ouvrage habituellement inaccessible doit être inspectée (inspection spéciale) ou lorsque la sécurité du barrage est menacée face à un événement inhabituel ou potentiellement à risque (inspection d'urgence). Notons que la plupart des barrages laisse apparaître les signes de leur comportement anormal avant effondrement. Les personnes chargées de l'inspection sont tenues d'observer, de noter chronologiquement les phénomènes observés dans le registre du barrage et d'informer les responsables au besoin.

##### **▪ Contrôle des organes d'évacuation**

La surveillance du barrage prend en compte le contrôle des organes de vidanges et d'évacuation. Ce sont des parties assez sensibles du barrage qui garantissent sa sécurité face à des phénomènes pluvieux donnés. Le comité est chargé de notifier tout comportement anormal au niveau de ces organes et prévenir les services techniques.

#### **4.8.4. Techniques d'entretien courant**

L'agence de l'eau du Nakanbé a réalisé une étude en 2015 portant sur l'entretien des barrages en terre dans son espace de compétence. Le document intitulé « Manuel de surveillance et d'entretien des barrages en terre » est un référentiel national et un guide à la portée des structures locaux dans la gestion des ouvrages [19]. Elaboré selon une approche pragmatique et adapté aux compétences des comités locaux de l'eau, le manuel traite globalement des méthodes et techniques de réparation des dégradations courantes. Le comité de gestion du barrage, avec l'appui des services techniques pourra s'en approprier et agir au besoin.

## 4.9. Etude financière

Le Tableau 23 fait la synthèse du devis estimatif des travaux.

Tableau 23 : Synthèse du devis estimatif de la reconstruction du barrage

| N°   | Désignation des ouvrages                             | Montant (FCFA)     | Ratio (%) |
|------|------------------------------------------------------|--------------------|-----------|
| I    | Envoi, repli de matériel et installation de chantier | 25 000 000         | 3,57%     |
| II   | Tranchée d'encrage et fondation                      | 57 532 500         | 8,22%     |
| III  | La digue                                             | 336 350 625        | 48,05%    |
| IV   | Diguette de protection                               | 37 700 000         | 5,39%     |
| V    | Evacuateur de crue                                   | 207 465 759        | 29,64%    |
| VI   | Chenal d'évacuation                                  | 9 450 000          | 1,35%     |
| VII  | Ouvrage de prise et de vidange                       | 12 770 401         | 1,82%     |
| VIII | Dispositif d'auscultation du barrage                 | 700 000            | 0,10%     |
| IX   | Cuvette du barrage                                   | 13 000 000         | 1,86%     |
|      | Total général hors taxe                              | 699 969 285        |           |
|      | <b>Total général toute taxe comprise (TTC)</b>       | <b>825 963 756</b> |           |

Le coût estimatif pour la reconstruction du barrage s'élève à *huit cent vingt-cinq millions neuf cent soixante-trois mille sept cent cinquante-six (825 963 756) Francs CFA*. La digue et l'évacuateur de crue représentent respectivement 48,05% et 29,64% du coût global de l'ouvrage. Le coût du mètre cube d'eau mobilisé rapporté à la durée de vie de l'ouvrage s'élève à 27,75 francs CFA/m<sup>3</sup>/an. La gestion des impacts liés au projet se fera à travers le PGES dont le coût des mesures s'élève à *soixante-dix millions cinq cent mille (70 500 000) francs CFA*. Ainsi, le montant global du projet de reconstruction du barrage de Kobre s'élève à *huit cent quatre-vingt-seize millions quatre cent soixante-trois mille sept cent cinquante-six (896 463 756) Francs CFA* (détails en ANNEXE 12).

## **CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

---

La présente étude entre dans le cadre de la mise en œuvre du programme national des aménagements hydrauliques à l'horizon 2030. Le barrage de Kobre réalisé en 1985 puis réhabilité deux fois suite à la rupture du déversoir est dans un état de dégradation qui nécessite une intervention. La situation socio-économique des populations des localités concernées a été fortement impactée par la rupture du barrage.

Au départ, il était question de proposer des travaux de réhabilitation du barrage existant avec une possibilité de reconstruire si nécessaire. Nous avons mis en évidence à l'issue du diagnostic, la nécessité de reconstruire le barrage sur un nouvel emplacement. Nous estimons que cette proposition, qui découle de l'analyse de plusieurs options, offre le meilleur compromis entre les impératifs techniques, économiques, environnementaux et sociaux. Ensuite, nous avons conçu et dimensionné le barrage et ses ouvrages annexes en s'appuyant sur les différentes études de base. Conscient des impacts sur le milieu humain et biophysique, nous avons proposé un plan de gestion environnemental et social en vue d'assurer une meilleure insertion du projet dans son environnement récepteur.

Rappelons que la sécurité d'un barrage est très importante du point de vue de sa vocation à stocker l'eau pour les besoins mais aussi les dommages qu'il pourrait occasionner en cas de rupture. Nous proposons donc quelques recommandations dont la mise en œuvre permettrait d'avoir un ouvrage sûr et dans le même temps assurer la sécurité des personnes ainsi que de leurs biens. Il s'agit des recommandations suivantes :

- Prévoir une diguette de protection en rive droite pour sécuriser le CSPS et l'école en cas de crue exceptionnelle ;
- Mener des investigations géotechniques sur l'ancienne digue en vue d'envisager la possibilité de réutiliser les matériaux pour la nouvelle digue ou la diguette de protection ;
- En phase d'exploitation, veuillez au respect des différentes règles établies dans le cadre de l'exploitation et la gestion du barrage.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Premier Ministère, « Plan National de Développement Economique et Social - Burkina Faso ». 2016.
- [2] F. J. P. PALLO et N. SAWADOGO, « Essai de corrélation entre les caractéristiques du climat, de la végétation et des sols au Burkina Faso », p. 12, 2010.
- [3] S. LOYE et W. M. S. GOUEM, « Monographie de la région du Centre - Est ». 2009.
- [4] SERAT, « Etudes socio-économiques pour la réhabilitation du barrage de Kobré/Sougoudin : Version finale ». 2020.
- [5] FAO, « Crues et Apports : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versant non jaugés à l'Afrique sahéenne et tropicale sèche ». 1998.
- [6] H. KARAMBIRI et D. NIANG, « Cours d'hydrologie 2 ». 2008.
- [7] J. M. GRESILLON, P. HERTER, et Je. P. LAHAYE, « Note sur le dimensionnement des ouvrages évacuateurs de crues en Afrique de l'Ouest sahéenne ou tropicale ». 1977.
- [8] J. M. DURAND, « Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique ». 1996.
- [9] Direction des Statistiques Animales, « Les statistiques du secteur de l'élevage au Burkina Faso ». 2008.
- [10] H. KARAMBIRI et I. GUEYE, « Cours de barrages, Licence 2 et 3 ». 2006.
- [11] LSB-IC, « Etude géotechnique pour la reconstruction du barrage de Kobré dans la commune de Dourtenga ». 2019.
- [12] M. LO, « Cours de barrage ». 2017.
- [13] J. M. DURAND, P. ROYET, et P. MERIAUX, « Techniques des petits barrages en Afrique sahéenne et équatoriale ». 1998.
- [14] CEMAGREF, « Introduction de techniques innovantes en matière de barrages en terre en zone sahéenne - Rapport de présentation des variantes techniques ». 1989.
- [15] COMPAORE, « Cours de barrages, EIER, 2ème édition ». 1996.
- [16] G. ADEOSSI, « L'étude d'impact environnemental et social -Cours 2iE ». 2018.
- [17] J. M. GRESILLON, P. HERTER, et J. P. LAHAYE, « Quelques aspects de l'hydrauliques des barrages : Suggestion pour le dimensionnement des petits barrages en Afrique sahéenne et tropicale - Remarques relatives à l'étude des érosions hydrauliques sur les sols cohérents ». 1979.
- [18] MEA, « Programme National des Aménagements Hydrauliques 2017 - 2030-Burkina Faso ». 2017.
- [19] AEN, « Manuel de surveillance et d'entretien des barrages en terres ». 2015.
- [20] L. MOUNIROU, « Essentiel d'hydrologie générale : Cours et exercices corrigés ». 2017.

## ANNEXES

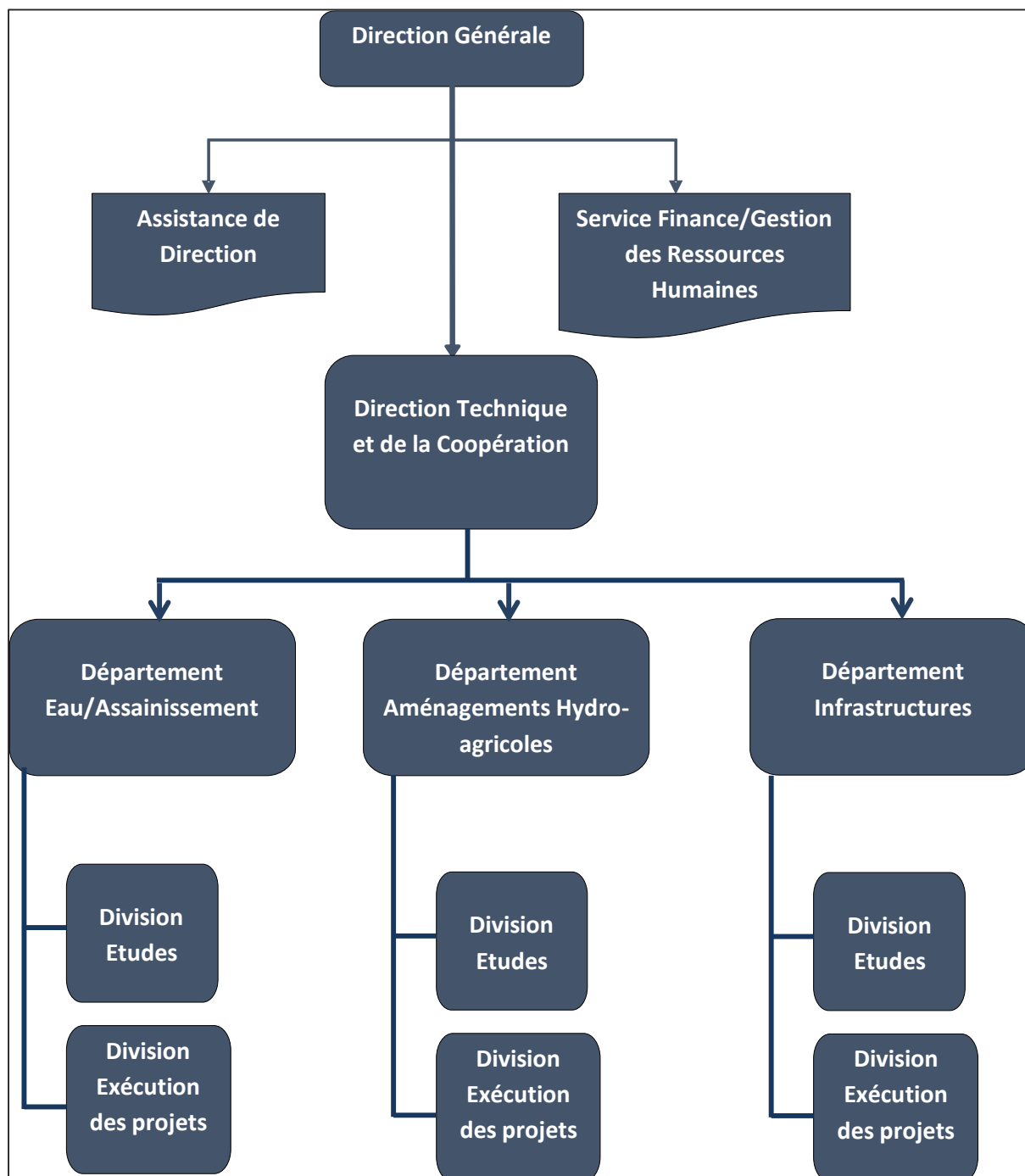
|                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Annexe 1 : Organigramme de SERAT .....</b>                      | <b>63</b>  |
| <b>Annexe 2 : Etude topographique .....</b>                        | <b>64</b>  |
| <b>Annexe 3 : Etude géotechnique .....</b>                         | <b>68</b>  |
| <b>Annexe 4 : Etude pluviométriques.....</b>                       | <b>70</b>  |
| <b>Annexe 5 : Etude hydrologique.....</b>                          | <b>75</b>  |
| <b>Annexe 6 : Etude de la digue .....</b>                          | <b>89</b>  |
| <b>Annexe 7 : Etude du déversoir .....</b>                         | <b>93</b>  |
| <b>Annexe 8 : Etude du bassin de dissipation .....</b>             | <b>99</b>  |
| <b>Annexe 9 : Etude des murs bajoyers .....</b>                    | <b>103</b> |
| <b>Annexe 10 : Etude de l'ouvrage de prise et de vidange .....</b> | <b>106</b> |
| <b>Annexe 11 : Impact environnemental et social .....</b>          | <b>110</b> |
| <b>Annexe 12 : Métré et Devis estimatif .....</b>                  | <b>120</b> |
| <b>Annexe 13 : Pièces graphiques .....</b>                         | <b>126</b> |

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Illustration 1 : Répartition de la pluie moyenne dans les mois de l'année.....           | 71 |
| Illustration 2 : Ajustement graphique de la pluie moyenne annuelle par la loi de GAUSS   | 73 |
| Illustration 3 : Pointage graphique de la pluie journalière par la loi de GUMBEL .....   | 74 |
| Illustration 4 : Courbe hypsométrique du bassin versant du barrage de Kobre .....        | 76 |
| Illustration 5 : Temps de montée en régime tropical.....                                 | 79 |
| Illustration 6 : Géologie du bassin versant du barrage de Kobre .....                    | 80 |
| Illustration 7 : Débit décennal pour une pluie décennale de 100 mm et des pentes R3..... | 82 |
| Illustration 8 : Coefficient de majoration en zone tropicale.....                        | 83 |
| Illustration 9 : Débit centennal pour une pluie décennale de 100 mm en régime tropical.. | 83 |
| Illustration 10 : Hydrogramme schématique des crues .....                                | 84 |
| Illustration 11 : Abaque pour le calcul du coefficient d'écoulement .....                | 85 |
| Illustration 12 : Modélisation de l'étude de la stabilité des pentes .....               | 90 |
| Illustration 13 : Paramètres de calcul du drain avec la parabole de KOZENY .....         | 91 |
| Illustration 14 : Variante 1 de la tranchée .....                                        | 92 |
| Illustration 15 : Variante 2 de la tranchée .....                                        | 92 |
| Illustration 16 : Variante 3 de la tranchée .....                                        | 92 |

|                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Illustration 17 : Abaque de détermination du coefficient de débit .....                                                                                                                   | 93  |
| Illustration 18 : Abaque de validité de l'hydrogramme schématique .....                                                                                                                   | 94  |
| Illustration 19 : Modèle du bassin de dissipation de type ressaut .....                                                                                                                   | 99  |
| Illustration 20 : Abaque pour la détermination des caractéristique du bassin de dissipation<br>(nombre de Froude supérieur à 4,5 et vitesse de l'eau à l'entrée inférieur à 15 m/s) ..... | 102 |
| Illustration 21 : Choix du coefficient de contraction du débit.....                                                                                                                       | 106 |
| Illustration 22 : Diagramme de MOODY pour le choix d'une conduite de vidange .....                                                                                                        | 107 |
| Illustration 23 :Abaque pour la détermination de la largeur du bac de réception .....                                                                                                     | 109 |

## Annexe 1 : Organigramme de SERAT



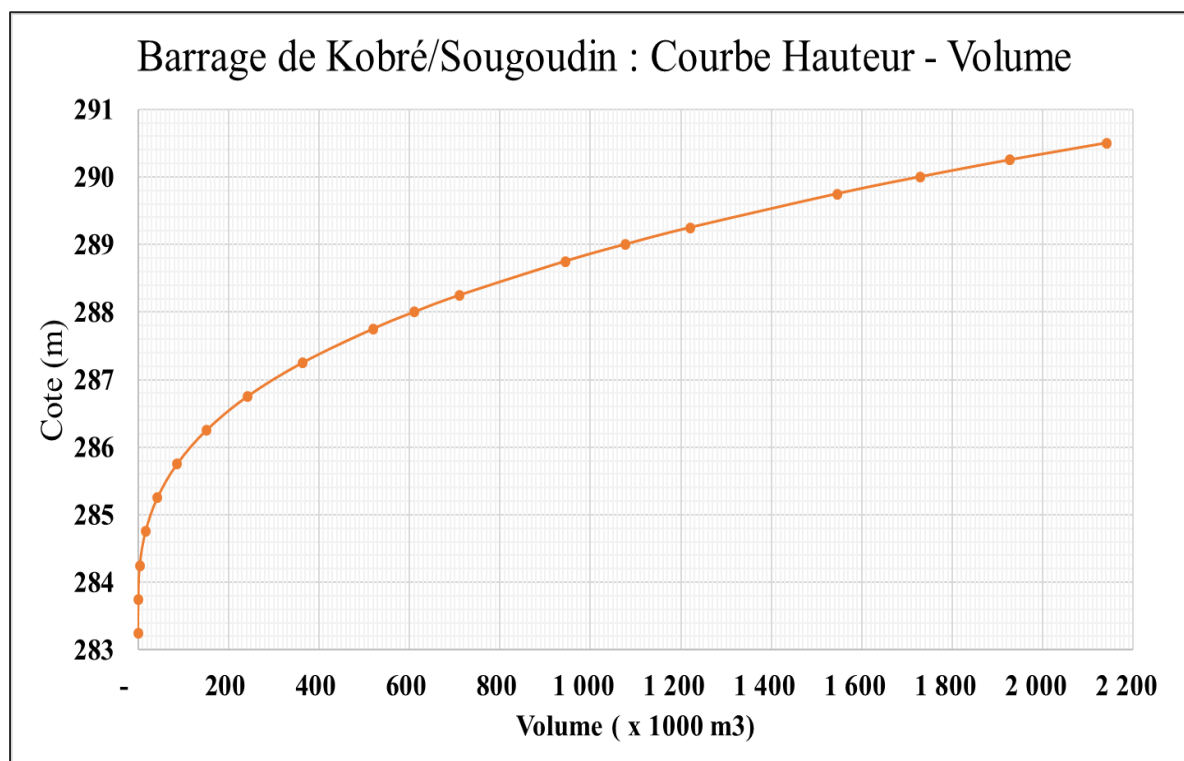
## Annexe 2 : Etude topographique

### ▪ Données de la courbe hauteur volume et hauteur surface

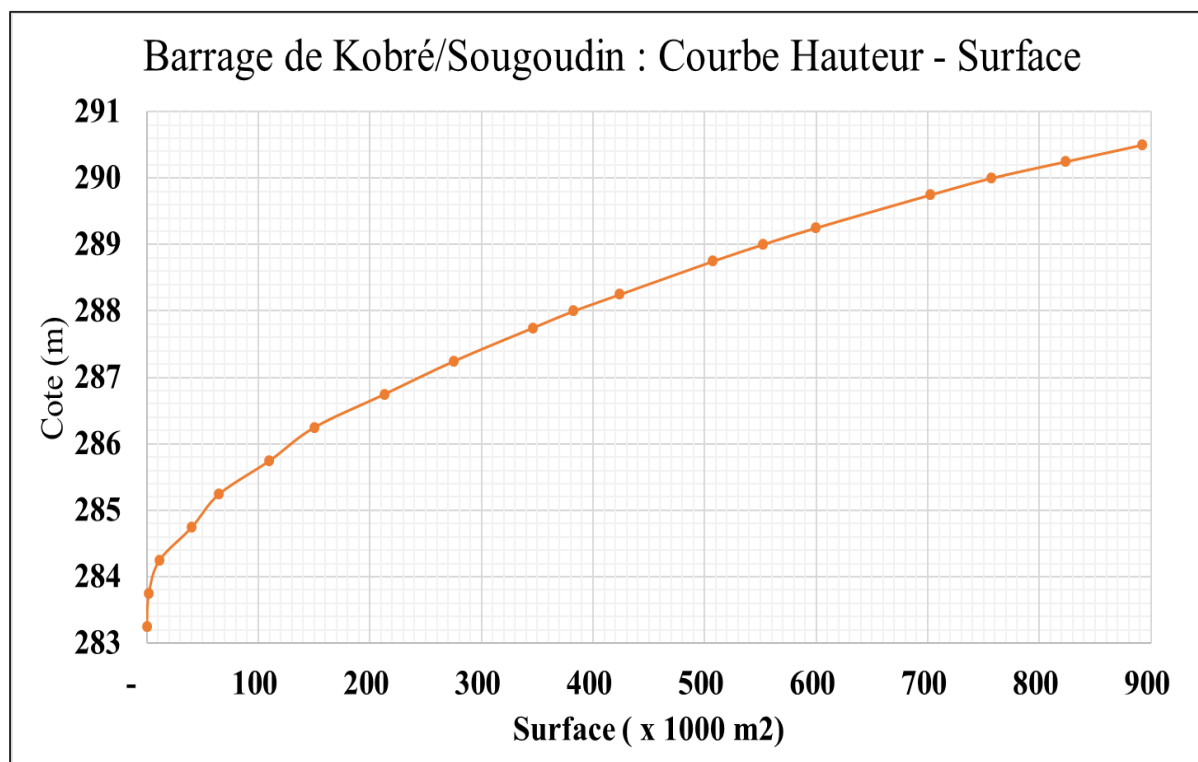
Les données topographiques ayant servie à la construction des courbes hauteur-volume et la courbe hauteur-surface sont répertoriées dans le tableau ci-dessous.

| N°        | Côte (m)          | Tranche<br>d'altitude (m) | Surface<br>cumulée (m <sup>2</sup> ) | Volume<br>cumulé (m <sup>3</sup> ) | Hauteur de<br>la digue (m) |
|-----------|-------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 1         | 283,25            | -                         | -                                    | -                                  | 0,00                       |
| 2         | 283,75            | 0,50                      | 1 784                                | 446                                | 0,50                       |
| 3         | 284,25            | 0,50                      | 11 243                               | 3 703                              | 1,00                       |
| 4         | 284,75            | 0,50                      | 40 278                               | 16 583                             | 1,50                       |
| 5         | 285,25            | 0,50                      | 64 843                               | 42 863                             | 2,00                       |
| 6         | 285,75            | 0,50                      | 109 829                              | 86 531                             | 2,50                       |
| 7         | 286,25            | 0,50                      | 149 937                              | 151 473                            | 3,00                       |
| 8         | 286,75            | 0,50                      | 212 791                              | 242 155                            | 3,50                       |
| 9         | 287,25            | 0,50                      | 275 448                              | 364 215                            | 4,00                       |
| 10        | 287,75            | 0,50                      | 346 245                              | 519 638                            | 4,50                       |
| 11        | 288,00            | 0,25                      | 382 453                              | 610 725                            | 4,75                       |
| 12        | 288,25            | 0,25                      | 423 884                              | 711 517                            | 5,00                       |
| 13        | 288,75            | 0,50                      | 507 487                              | 944 360                            | 5,50                       |
| <b>14</b> | <b>PEN 289,00</b> | <b>0,25</b>               | <b>551 962</b>                       | <b>1 076 791</b>                   | <b>5,75</b>                |
| 15        | 289,25            | 0,25                      | 599 445                              | 1 220 717                          | 6,00                       |
| <b>16</b> | <b>PHE 289,75</b> | <b>0,50</b>               | <b>702 561</b>                       | <b>1 546 219</b>                   | <b>6,50</b>                |
| 17        | 290,00            | 0,25                      | 756 940                              | 1 728 656                          | 6,75                       |
| 18        | 290,25            | 0,25                      | 823 700                              | 1 926 236                          | 7,00                       |
| 19        | 290,50            | 0,25                      | 892 082                              | 2 140 709                          | 7,25                       |

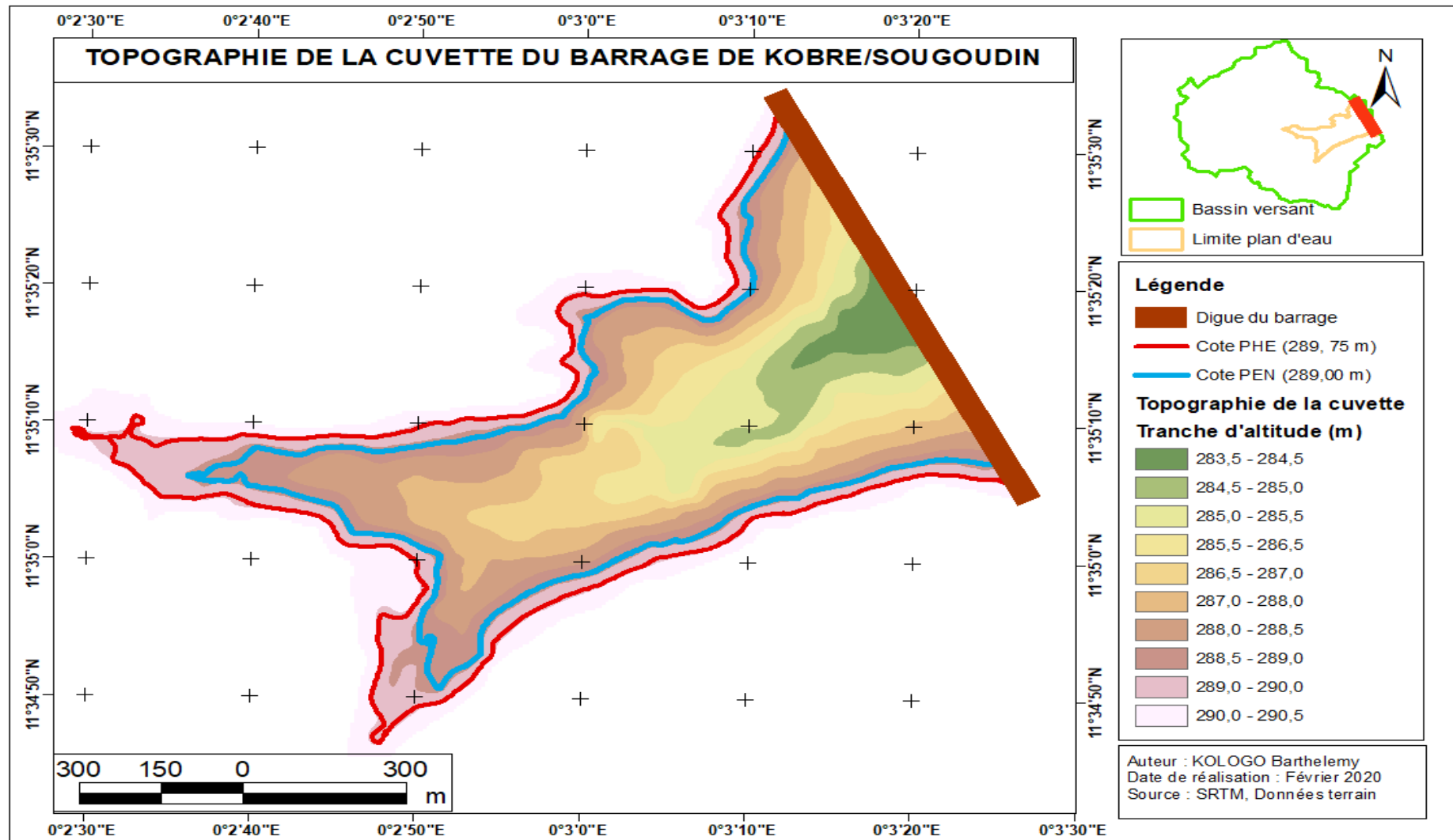
▪ Courbe hauteur volume



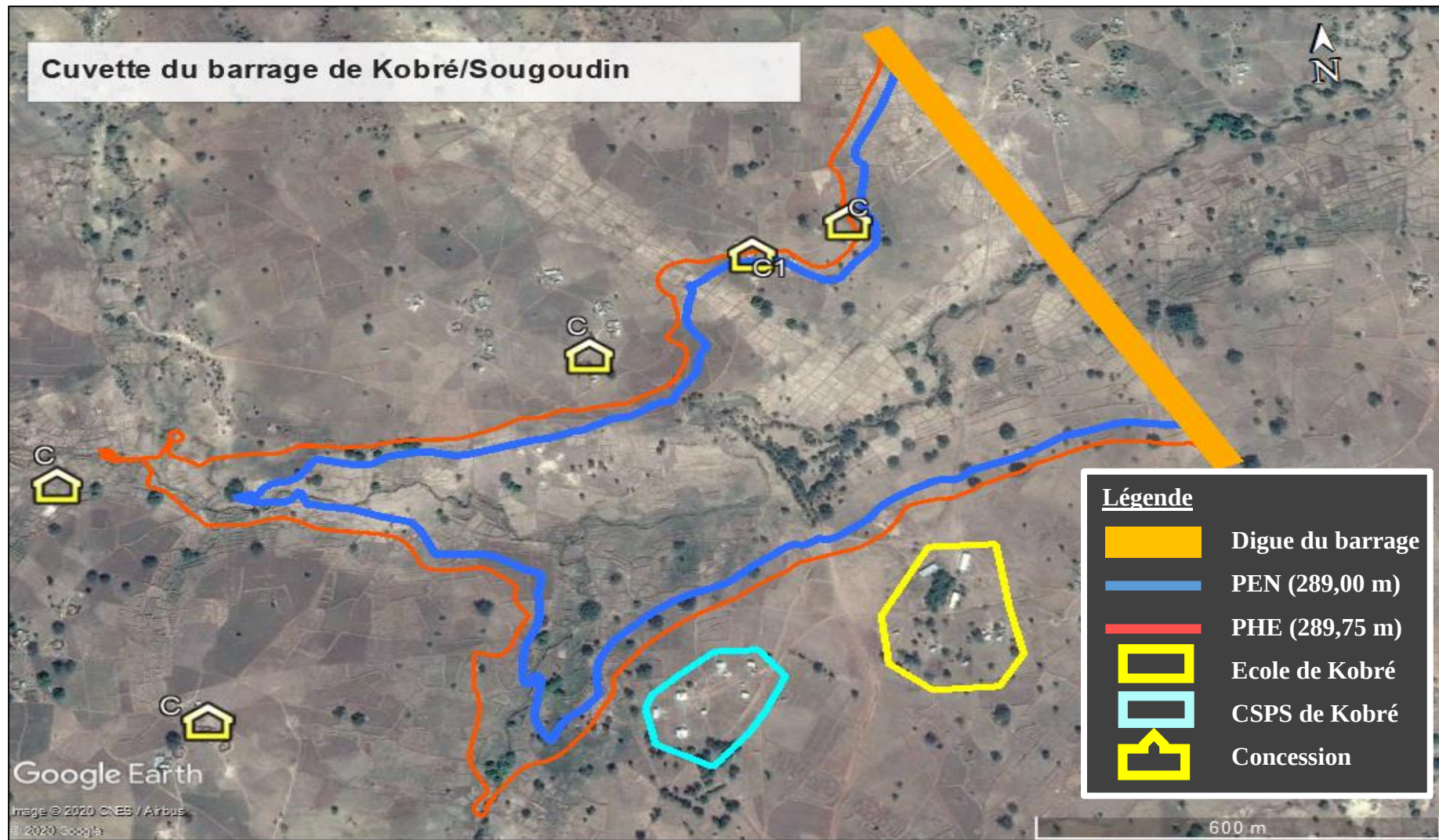
▪ Courbe hauteur surface



■ Topographie de la cuvette du barrage



▪ Plan de masse de la cuvette du barrage



### Annexe 3 : Etude géotechnique

#### ▪ Les différents essais ainsi que les normes utilisées

| Type d'essai                    | Objectif                                                                                         | Norme (s) utilisée (s)                          |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Analyse granulométrique</b>  | Déterminer les proportions pondérales des grains de différentes dimensions du matériau grenu     | NF P18 – 540 ; NF P18 – 560 ; NF P94 - 056 & 57 |
| <b>Limites d'Atterberg</b>      | Déterminer la présence des particules d'argile à travers l'indice de plasticité                  | NF P94 – 049 – 1 ; NFXP 94 – 060 – 1            |
| <b>Proctor Normal</b>           | Déterminer la teneur en eau optimale et les conditions de compactage pour le matériau de remblai | NFP 94 – 093                                    |
| <b>Cisaillement direct (UU)</b> | Déterminer les caractéristiques mécaniques du sol à savoir la cohésion et l'angle de frottement  | NF P – 071 – 1                                  |
| <b>Perméabilité</b>             | Déterminer le coefficient de perméabilité (coefficient de Darcy) des sols saturés                | NF P – 94 – 512 – 11                            |
| <b>Equivalent sable</b>         | Déterminer la proportion des particules fines dans le matériau sableux                           | NF 18 – 597                                     |

#### ▪ Récapitulatif des résultats d'essais des matériaux d'emprunt

| Emprunt             | Analyse granulométrique<br>(% de passant) |        |        | Limites<br>d'Atterberg |                    | Classificati<br>on USCS | Optimum<br>Proctor Normal<br>(OPN) |                                       | Cisaillement |       | Perm<br>éabilit<br>e | Utilisation                                        |
|---------------------|-------------------------------------------|--------|--------|------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------|-------|----------------------|----------------------------------------------------|
|                     | <<br>20 mm                                | < 2 mm | <80 µm | I <sub>L</sub> (%)     | I <sub>P</sub> (%) |                         | W<br>(%)                           | γ <sub>h</sub><br>(t/m <sup>3</sup> ) | Cu<br>(kPa)  | Φ (°) | k (m/s)              |                                                    |
| Emprunt latéritique | 100                                       | 16     | 10     | 22                     | 9                  | GC/A<br>-2-4            | 8,5                                | 2,11                                  |              |       |                      | Matériau de bonne qualité pour remblai latéritique |
| Emprunt argileux    | 100                                       | 98     | 86     | 43                     | 19                 | CL/A<br>-7-6            | 19,0                               | 1,68                                  | 49,8         | 8,0   | 1,7.10 <sup>-8</sup> | Matériaux de bonne qualité pour remblai de digue   |

▪ **Récapitulatif des résultats d'essais des matériaux du sol de fondation de la digue**

| Prélèvement | Analyse granulométrique (% de passant) |        |         | Limites d'Atterberg |                    | Classification USCS | Optimum Proctor Normal (OPN) |                                    | Cisaillement |       | Perméabilité         | Conclusion                                                                         |
|-------------|----------------------------------------|--------|---------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------|-------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|             | < 20 mm                                | < 2 mm | < 80 µm | I <sub>L</sub> (%)  | I <sub>p</sub> (%) |                     | W (%)                        | γ <sub>h</sub> (t/m <sup>3</sup> ) | Cu (kPa)     | Φ (°) | k (m/s)              |                                                                                    |
| P1<br>E1    | 98                                     | 91     | 59      | 41                  | 20                 | CL/<br>A-           | 17,0                         | 1,67                               | 52,1         | 10,2  | 2.10 <sup>-7</sup>   | Argile limoneuse de moyenne plasticité, non dispersive et probablement imperméable |
| P2<br>E2    | 100                                    | 93     | 62      | 25                  | 11                 | CL/A--6             | 13,0                         | 1,81                               |              |       |                      | Limon argileux de faible plasticité, non dispersif et probablement imperméable     |
| P3<br>E3    | 98                                     | 89     | 67      | 33                  | 18                 |                     | 17,5                         | 1,71                               |              |       |                      |                                                                                    |
| P4<br>E4-1  | 99                                     | 59     | 36      | 36                  | 20                 | SC/<br>A-           | 11,9                         | 1,93                               |              |       |                      | Grave latéritique de moyenne plasticité, probablement perméable                    |
| P4<br>E4-2  | 100                                    | 88     | 15      | Non plastique       |                    | SC                  |                              | 12,0                               | 2,3          | 29,3  | 3,8.10 <sup>-5</sup> | Sable latéritique non plastique, perméable                                         |
| P11<br>E11  | 100                                    | 89     | 58      | 45                  | 25                 | CL/<br>A-           | 15,0                         | 1,71                               | 38,2         | 10,2  | 3,3.10 <sup>-7</sup> | Argile limoneuse de moyenne plasticité, non dispersive et probablement imperméable |

### **Annexe 4 : Etude pluviométriques**

▪ **Données pluviométriques de la station de Tenkodogo**

| Année | Pluie moyenne annuelle (mm) |           | Pluie maximale journalière (mm) |           |
|-------|-----------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
|       | Brutes                      | Corrigées | Brutes                          | Corrigées |
| 1970  | 1022                        | 1022      | 66                              | 66        |
| 1971  | 1016                        | 1016      | 68                              | 68        |
| 1972  | 912                         | 912       | 71                              | 71        |
| 1973  | 805                         | 805       | 73                              | 73        |
| 1974  | 785                         | 785       | 79                              | 79        |
| 1975  | 813                         | 813       | 80                              | 80        |
| 1976  | 798                         | 798       | 75                              | 75        |
| 1977  | 751                         | 751       | 60                              | 60        |
| 1978  | 786                         | 786       | 51                              | 51        |
| 1979  | 717                         | 717       | 54                              | 54        |
| 1980  | 832                         | 832       | 66                              | 66        |
| 1981  | 797                         | 797       | 66                              | 66        |
| 1982  | 805                         | 805       | 77                              | 77        |
| 1983  | 790                         | 790       | 67                              | 67        |
| 1984  | 472                         | 756       | 42                              | 42        |
| 1985  | 654                         | 654       | 49                              | 49        |
| 1986  | 664                         | 664       | 49                              | 49        |
| 1987  | 578                         | 578       | 37                              | 37        |
| 1988  | 941                         | 941       | 98                              | 98        |
| 1989  | 371                         | 861       | 52                              | 52        |
| 1990  | 683                         | 683       | 77                              | 77        |
| 1991  | 994                         | 994       | 92                              | 92        |
| 1992  | 790                         | 790       | 58                              | 58        |
| 1993  | 621                         | 621       | 44                              | 44        |
| 1994  | -                           | 897       | -                               | 65        |
| 1995  | 778                         | 778       | 60                              | 60        |
| 1996  | 784                         | 784       | 56                              | 56        |
| 1997  | 659                         | 659       | 95                              | 95        |
| 1998  | 828                         | 828       | 110                             | 110       |
| 1999  | 845                         | 845       | 76                              | 76        |
| 2000  | 772                         | 772       | 54                              | 54        |
| 2001  | 543                         | 543       | 42                              | 42        |
| 2002  | 543                         | 543       | 42                              | 42        |
| 2003  | 400                         | 879       | -                               | 65        |
| 2004  | 62                          | 743       | -                               | 62        |
| 2005  | 173                         | 842       | -                               | 67        |
| 2006  | 797                         | 797       | 57                              | 57        |
| 2007  | 953                         | 953       | 76                              | 76        |
| 2008  | 1074                        | 1074      | 96                              | 96        |
| 2009  | 1171                        | 1171      | 79                              | 79        |
| 2010  | 902                         | 902       | 106                             | 106       |
| 2011  | 698                         | 698       | 69                              | 69        |
| 2012  | 830                         | 830       | 59                              | 59        |
| 2013  | 743                         | 743       | 50                              | 50        |
| 2014  | 898                         | 898       | 51                              | 51        |
| 2015  | 714                         | 714       | 59                              | 59        |

| Année | Pluie moyenne annuelle (mm) |           | Pluie maximale journalière (mm) |           |
|-------|-----------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
|       | Brutes                      | Corrigées | Brutes                          | Corrigées |
| 2016  | 1049                        | 1049      | 148                             | 148       |
| 2017  | 645                         | 645       | 63                              | 63        |

▪ **Evapotranspiration moyenne mensuelle à la station de Fada N’gourma**

| Mois     | Janv. | Fév.  | Mar.  | Avr.  | Mai   | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Déc.  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ETP (mm) | 172,9 | 171,4 | 199,2 | 197,4 | 192,2 | 160,4 | 142,2 | 125,7 | 131,1 | 158,0 | 157,6 | 168,9 |

▪ **Pluviométrie moyenne annuelle**

Les précipitations sont observées entre le mois d’avril à octobre. La saison des pluies dure environ 6 à 7 mois et l’arrêt effectif des pluies se situe en fin octobre et à partir de novembre, les prélèvements seront sensibles à la retenue.

| Mois       | Janv. | Fév. | Mar. | Avr.  | Mai   | Juin   | Juill. | Aout   | Sep.   | Oct.  | Nov. | Déc. |
|------------|-------|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|------|------|
| Pluie (mm) | 0,18  | 0,82 | 4,76 | 27,35 | 79,00 | 105,77 | 170,25 | 229,29 | 139,56 | 37,49 | 1,95 | 0,31 |

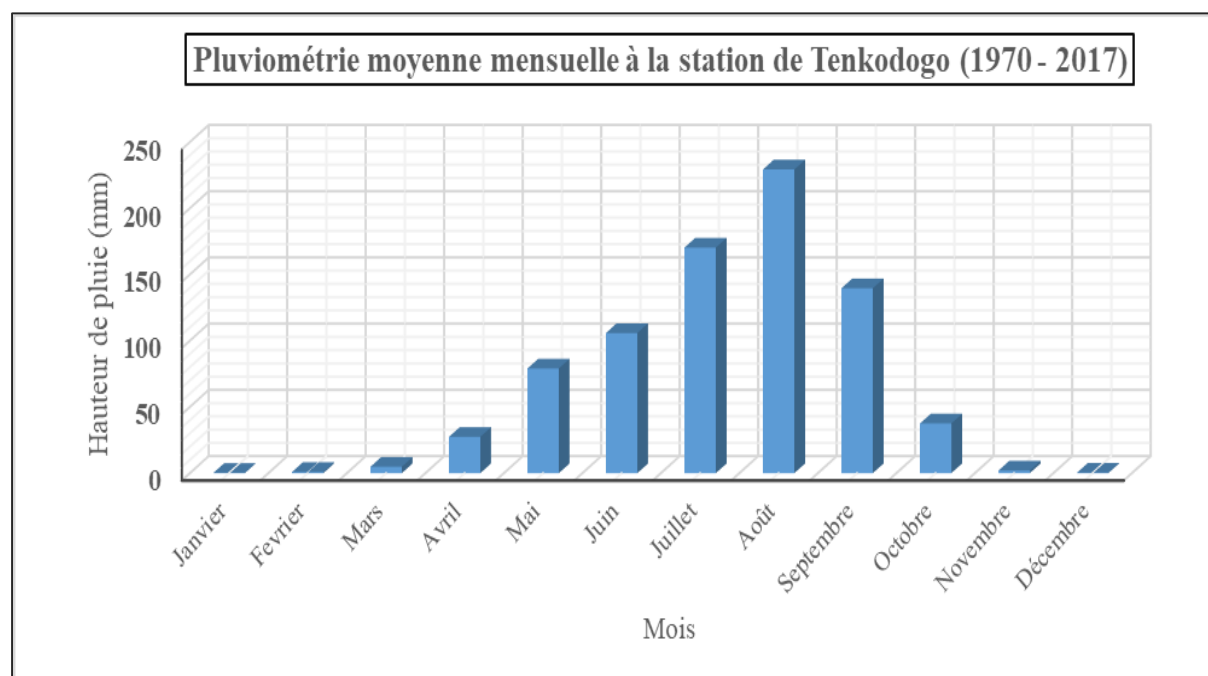


Illustration 1 : Répartition de la pluie moyenne dans les mois de l’année

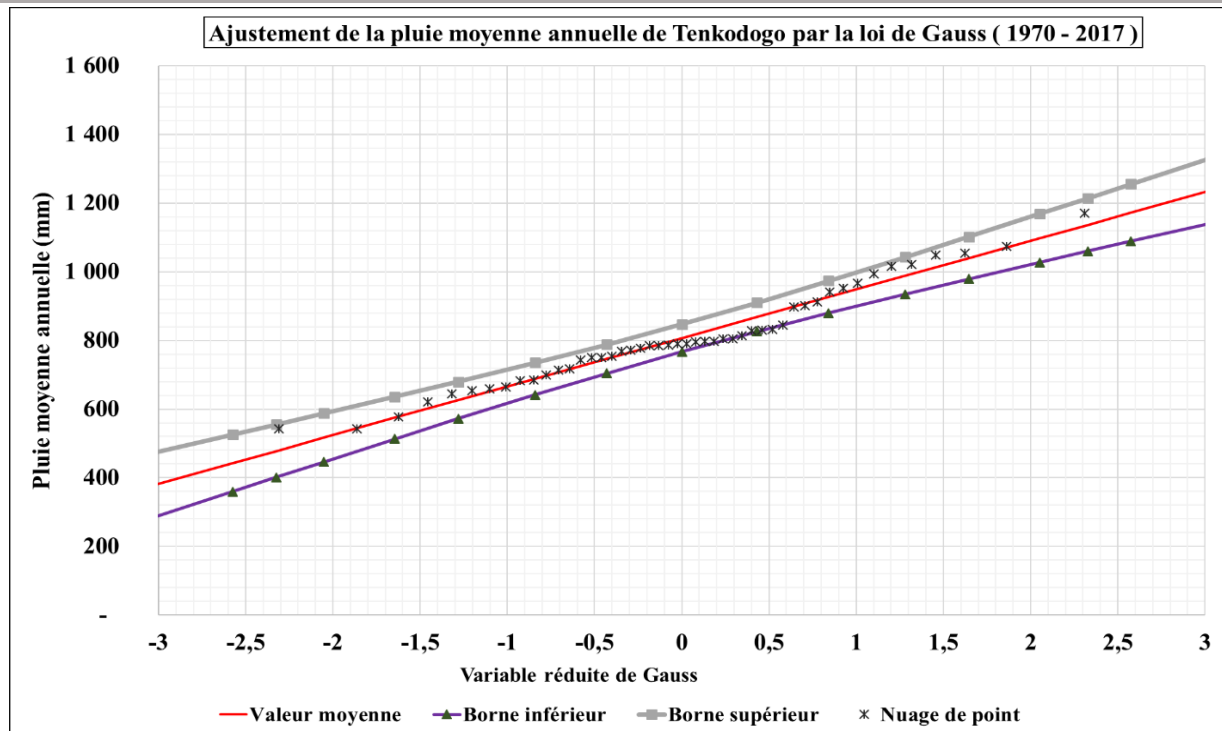
### ▪ Ajustement de la pluie moyenne annuelle par la loi de GAUSS

La procédure de calcul ainsi que les paramètres pour l'ajustement de la pluie moyenne annuelle avec la loi de GAUSS est résumée comme suit :

|                                                                                                                                                   |                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| $\bar{X} = 807 \text{ mm}$                                                                                                                        | $\bar{X}$ : Moyenne de l'échantillon             |
| $\partial = 141 \text{ mm}$                                                                                                                       | $\partial$ : écart type de l'échantillon         |
| $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{\left(\frac{-u^2}{2}\right)} du ; \quad u = \frac{x-\bar{X}}{\sigma}$                           |                                                  |
| $f(x) = \frac{r - 0,5}{n}$                                                                                                                        | fréquence expérimentale de HAZEN (n = 48)        |
| $U_p$ : Variable réduite de GAUSS. Elle s'obtient directement dans le tableur Excel avec la fonction : <b>LOI.NORMALE.STANDARD.INVERSE.N (fx)</b> |                                                  |
| $X_p(mm) = \bar{X} + (U_p * \partial)$                                                                                                            | $X_p(mm)$ : Pluie d'une période de retour donnée |
| $\beta(U) = \sqrt{1 + \frac{U_p^2}{2}}$                                                                                                           |                                                  |
| $\Delta IC (mm) = k * \frac{\partial}{\sqrt{n}} * \beta(U)$                                                                                       | Intervalle de confiance à 95% (avec $k = 1,96$ ) |
| $BS = X_p(mm) + \Delta IC (mm)$                                                                                                                   | BS : Borne supérieure                            |
| $BI = X_p(mm) - \Delta IC (mm)$                                                                                                                   | BI : Borne inférieure                            |

Les résultats ainsi que le graphique de l'ajustement sont présentés ci-après.

| Période        | Temps de retour | Fréquence expérimental | Variable réduite Gauss | Pluie annuelle moyenne | Intervalle de confiance | Borne inférieure | Borne supérieure |
|----------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------|------------------|
|                | T (an)          | F (x)                  | Up                     | Xp (mm)                | $\Delta IC$ (mm)        | BI (mm)          | BS (mm)          |
| <b>Humide</b>  | 10000           | 0,9999                 | 3,719                  | 1 334                  | 113                     | 1 221            | 1 446            |
|                | 2000            | 0,9995                 | 3,290                  | 1 273                  | 101                     | 1 172            | 1 375            |
|                | 1000            | 0,999                  | 3,090                  | 1 245                  | 96                      | 1 149            | 1 341            |
|                | 200             | 0,995                  | 2,575                  | 1 172                  | 83                      | 1 089            | 1 255            |
|                | 100             | 0,99                   | 2,326                  | 1 137                  | 77                      | 1 060            | 1 214            |
|                | 50              | 0,98                   | 2,053                  | 1 098                  | 71                      | 1 027            | 1 169            |
|                | 20              | 0,95                   | 1,644                  | 1 040                  | 61                      | 979              | 1 102            |
|                | 10              | 0,9                    | 1,281                  | 989                    | 54                      | 935              | 1 043            |
|                | 5               | 0,8                    | 0,841                  | 927                    | 47                      | 880              | 973              |
|                | 3               | 0,66                   | 0,430                  | 868                    | 42                      | 826              | 910              |
| <b>Médiane</b> | <b>2</b>        | <b>0,5</b>             | <b>0</b>               | <b>807</b>             | <b>40</b>               | <b>767</b>       | <b>847</b>       |
| <b>Sèche</b>   | 3               | 0,33                   | -0,430                 | 746                    | 42                      | 705              | 788              |
|                | 5               | 0,2                    | -0,841                 | 688                    | 47                      | 642              | 735              |
|                | 10              | 0,1                    | -1,281                 | 626                    | 54                      | 572              | 680              |
|                | 20              | 0,05                   | -1,644                 | 575                    | 61                      | 513              | 636              |
|                | 50              | 0,02                   | -2,053                 | 517                    | 71                      | 446              | 587              |
|                | 100             | 0,01                   | -2,326                 | 478                    | 77                      | 401              | 555              |
|                | 200             | 0,005                  | -2,575                 | 443                    | 83                      | 360              | 526              |
|                | 1000            | 0,001                  | -3,090                 | 370                    | 96                      | 274              | 466              |
|                | 2000            | 0,0005                 | -3,290                 | 342                    | 101                     | 240              | 443              |
|                | 10000           | 0,0001                 | -3,719                 | 281                    | 113                     | 168              | 394              |



**Illustration 2 :** Ajustement graphique de la pluie moyenne annuelle par la loi de GAUSS

#### ▪ Ajustement de la pluie maximale journalière par la loi de GUMBEL

La procédure de calcul ainsi que les paramètres de la loi de GUMBEL utilisée pour l'ajustement de la pluie maximale journalière sont résumés comme suit :

|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\bar{X} = 67,5 \text{ mm}$                                                                              | $\bar{X}$ : Moyenne de l'échantillon                                                                                                                                                                                       |
| $\partial = 20,8 \text{ mm}$                                                                             | $\partial$ : écart type de l'échantillon                                                                                                                                                                                   |
| $F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}}$                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li><math>a = 0,06</math> avec <math>(\frac{1}{a} = 0,78 * \partial)</math></li> <li><math>x_0 = 58,1 \text{ mm}</math> [<math>x_0 = \bar{X} - (0,577 * \frac{1}{a})</math>]</li> </ul> |
| $f(x) = \frac{r}{n+1}$                                                                                   | fréquence expérimentale de WEIBULL (n = 48)                                                                                                                                                                                |
| $U_p = -Ln(-Ln(f(x)))$                                                                                   | $U_p$ : Variable réduite de GUMBEL                                                                                                                                                                                         |
| $X_p(mm) = x_0 + (U_p * 1/a)$                                                                            | $X_p(mm)$ : Pluie d'une période de retour donnée                                                                                                                                                                           |
| $K = 0,780 * (U_p - 0,577)$                                                                              |                                                                                                                                                                                                                            |
| $\Delta IC (mm) = U_{\frac{1-\alpha}{2}} * \frac{\partial}{\sqrt{n-1}} * \sqrt{1 + 1,4 * K + 1,1 * K^2}$ | Intervalle de confiance à 95% ( $\alpha = 95\%$ )                                                                                                                                                                          |
| $BS = X_p(mm) + \Delta IC (mm)$                                                                          | BS : Borne supérieure                                                                                                                                                                                                      |
| $BI = X_p(mm) - \Delta IC (mm)$                                                                          | BI : Borne inférieure                                                                                                                                                                                                      |

Le calcul donne les résultats dans le tableau et graphique ci-dessous :

| Période | Temps de retour<br>T (an) | Fréquence expérimental<br>F (x) | Variable réduite Gumbel<br>Up | Pluie journalière maximale<br>Xp (mm) | Intervalle de confiance<br>$\Delta IC$ (mm) | Borne inférieure<br>BI (mm) | Borne supérieure<br>BS (mm) |
|---------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Humide  | 10000                     | 0,9999                          | 9,210                         | 208                                   | 46                                          | 161                         | 254                         |
|         | 2000                      | 0,9995                          | 7,600                         | 181                                   | 38                                          | 143                         | 220                         |
|         | 1000                      | 0,999                           | 6,907                         | 170                                   | 35                                          | 135                         | 205                         |
|         | 200                       | 0,995                           | 5,295                         | 144                                   | 27                                          | 117                         | 171                         |
|         | 100                       | 0,99                            | 4,600                         | 133                                   | 24                                          | 109                         | 157                         |
|         | 50                        | 0,98                            | 3,901                         | 121                                   | 21                                          | 101                         | 142                         |
|         | 20                        | 0,95                            | 2,970                         | 106                                   | 16                                          | 90                          | 123                         |
|         | 10                        | 0,9                             | 2,250                         | 95                                    | 13                                          | 82                          | 107                         |
|         | 5                         | 0,8                             | 1,499                         | 82                                    | 10                                          | 73                          | 92                          |
|         | 3                         | 0,66                            | 0,902                         | 73                                    | 7                                           | 66                          | 80                          |
| Médiane | 2                         | 0,5                             | 0,366                         | 64                                    | 5                                           | 59                          | 69                          |
| Sèche   | 3                         | 0,33                            | -0,0940                       | 57                                    | 4                                           | 52                          | 61                          |
|         | 5                         | 0,2                             | -0,475                        | 50                                    | 5                                           | 46                          | 55                          |
|         | 10                        | 0,1                             | -0,834                        | 45                                    | 5                                           | 39                          | 50                          |
|         | 20                        | 0,05                            | -1,097                        | 40                                    | 6                                           | 34                          | 46                          |
|         | 50                        | 0,02                            | -1,364                        | 36                                    | 7                                           | 29                          | 43                          |
|         | 100                       | 0,01                            | -1,527                        | 33                                    | 8                                           | 26                          | 41                          |
|         | 200                       | 0,005                           | -1,667                        | 31                                    | 8                                           | 23                          | 39                          |
|         | 1000                      | 0,001                           | -1,932                        | 27                                    | 9                                           | 17                          | 36                          |
|         | 2000                      | 0,0005                          | -2,028                        | 25                                    | 10                                          | 15                          | 35                          |
|         | 10000                     | 0,0001                          | -2,220                        | 22                                    | 11                                          | 11                          | 33                          |

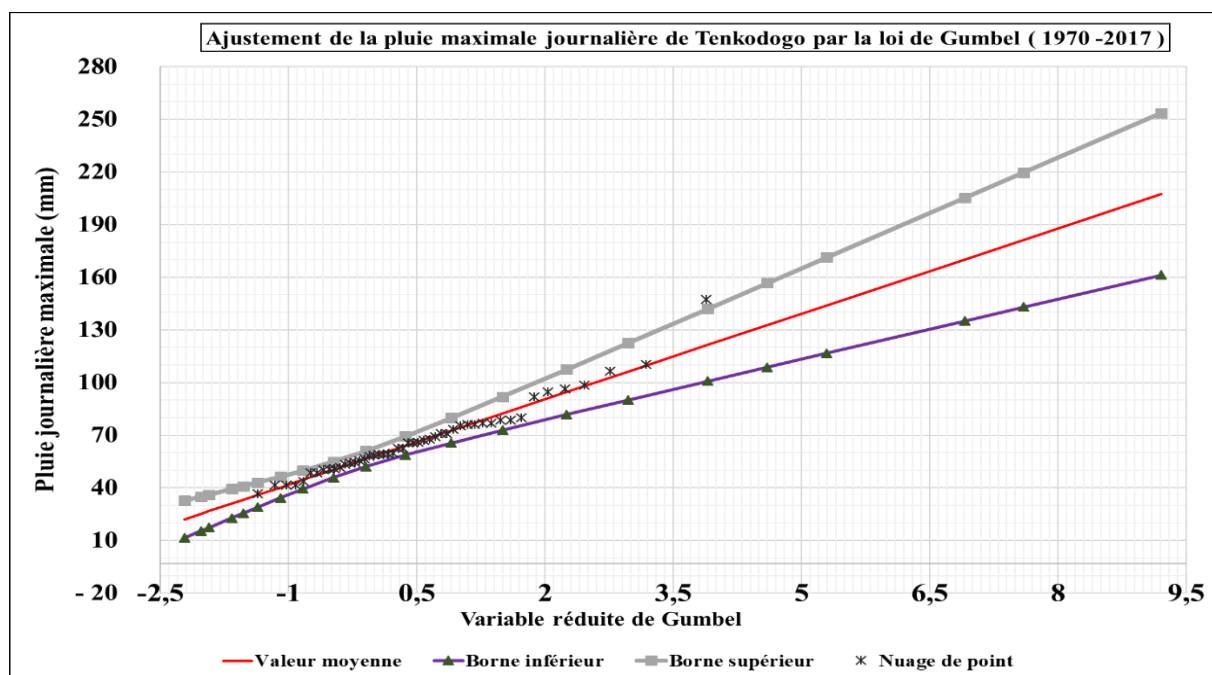


Illustration 3 : Pointage graphique de la pluie journalière par la loi de GUMBEL

## Annexe 5 : Etude hydrologique

### ❖ Caractéristiques du bassin versant

#### ▪ Superficie, périmètre et longueur de rectangle équivalent

Les limites du bassin versant générées à partir du modèle numérique de terrain donne :

- Superficie : 10,7 km<sup>2</sup>
- Périmètre : 15,5 km
- La longueur du rectangle équivalent  $L = \frac{15,5 + \sqrt{15,5^2 - 16 * 10,7}}{4} = 5,95 \text{ km}$

En se référant au tableau ci-dessous, le bassin versant est de classe 2 (petits bassins versants)

#### ▪ Indice de compacité (KG)

|                                         |                                                     |             |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|
| $K_G = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{S}}$ | $K_G = 0,282 \times \frac{15,5}{\sqrt{10,7}} = 1,3$ | $K_G = 1,3$ |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|

$K_G > 1 \rightarrow$  Le bassin versant est de forme allongée

#### ▪ Hypsométrie du bassin versant

Les données ayant servi à la construction de la courbe hypsométrique (Illustration 4) du bassin versant sont présentées dans le tableau ci-dessous.

| Altitude (m) | Superficie partielle (m <sup>2</sup> ) | Superficie cumulée (m <sup>2</sup> ) | Pourcentage (%) |
|--------------|----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| 289          | 409 855                                | 10 718 048                           | 100             |
| 292          | 579 554                                | 10 308 193                           | 96              |
| 295          | 991 229                                | 9 728 639                            | 91              |
| 299          | 1 913 594                              | 8 737 410                            | 82              |
| 302          | 1 677 639                              | 6 823 816                            | 64              |
| 305          | 1 752 874                              | 5 146 177                            | 48              |
| 307          | 976 215                                | 3 393 303                            | 32              |
| 310          | 1 233 058                              | 2 417 088                            | 23              |
| 313          | 899 136                                | 1 184 031                            | 11              |
| 320          | 284 895                                | 284 895                              | 3               |
| 321          | 0                                      | 0                                    | 0               |

On obtient les paramètres suivant à partir des données de la courbe hypsométrique.

| Paramètre du bassin versant | Valeur |
|-----------------------------|--------|
| Altitude maximale (m)       | 320    |
| Altitude minimale (m)       | 283    |

|                                               |       |
|-----------------------------------------------|-------|
| Pente longitudinale moyenne (m/km)            | 7,9   |
| Longueur du plus long cours d'eau (km)        | 4,50  |
| Longueur totale du réseau hydrographique (km) | 38,75 |
| Altitude à 5% (m)                             | 312   |
| Altitude à 95 % (m)                           | 290   |

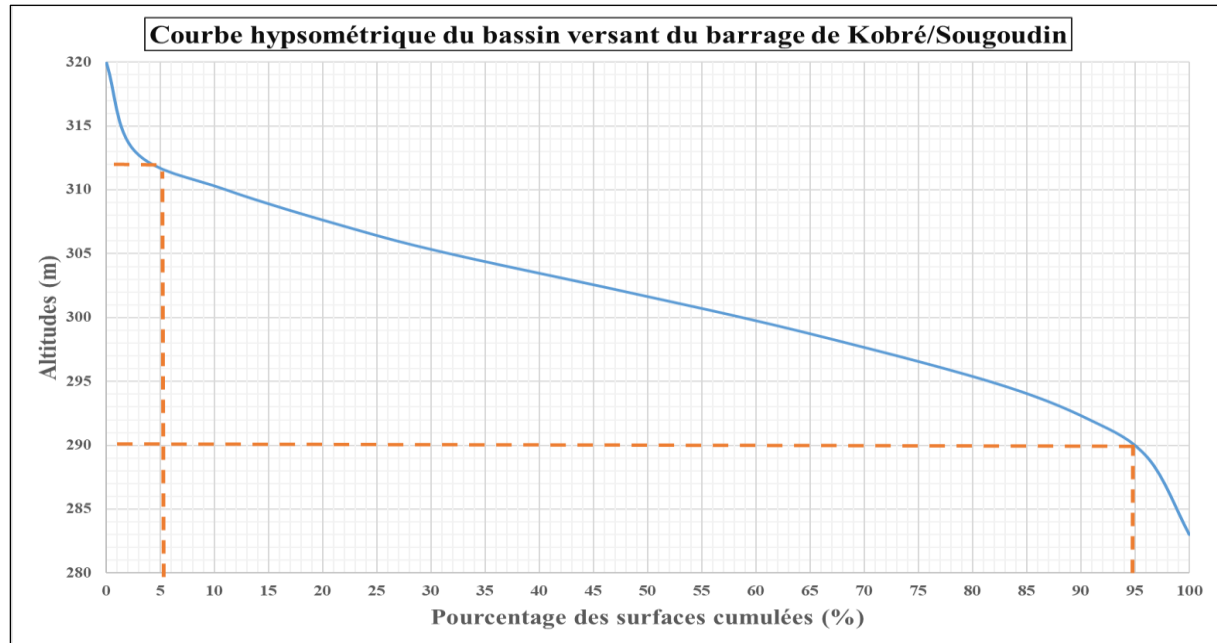


Illustration 4 : Courbe hypsométrique du bassin versant du barrage de Kobre

#### ▪ Pente longitudinale moyenne (I)

Elle s'obtient comme suit :

|                           |                                 |                         |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| $I = \frac{\Delta H}{Lc}$ | $I = \frac{320 - 283}{4,5} = 8$ | <b>I = 8 m/km = 8 ‰</b> |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|

On a I = 8 ‰, ce qui donne un bassin versant de **classe R3** avec des pentes modérées conformément à la classification proposée l'ORSTOM dans le tableau ci-dessous.

#### ▪ Indice global de pente (Ig)

|                                      |                                                   |                      |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------|
| $I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$ | $I_g = \frac{312 - 290}{5,95} = 3,7 \text{ m/km}$ | <b>20% Ig = 0,74</b> |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------|

### ▪ Pente transversale (It)

Les pentes transversales ont été déterminées en générant les courbes de niveau sur l'ensemble du bassin. Les côtes obtenues par les courbes de niveau ont permis de calculer les pentes transversales sur six points, et le résultat finale est la moyenne des valeurs obtenues.

|                                                                                     | Rive gauche |      |     | Rive droite |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------|-----|-------------|-------|-------|
| N°                                                                                  | 1           | 2    | 3   | 1           | 2     | 3     |
| Pente (m/km)                                                                        | 14,29       | 9,17 | 7,5 | 8,33        | 11,67 | 18,00 |
| <b>Pente transversale moyenne : It = 11,49 m/km</b>                                 |             |      |     |             |       |       |
| On remarque que It > 20% Ig = 0,74 → il faut donc corriger l'indice global de pente |             |      |     |             |       |       |

### ▪ Indice global de pente corrigée (Igc<sub>cor</sub>)

|                                          |                                                     |                                    |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|
| $I_{g_{cor}} = \frac{(n-1)I_g + I_t}{n}$ | $I_{g_{cor}} = \frac{(3-1) * 3,7 + 11,49}{3} = 6,3$ | <b>Ig<sub>cor</sub> = 6,3 m/km</b> |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|

### ▪ Dénivelé spécifique (Ds)

|                                     |                                  |                               |
|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| $D_s = I_{g_{cor}} \times \sqrt{S}$ | $D_s = 6,3 * \sqrt{10,7} = 20,6$ | <b>D<sub>s</sub> = 20,6 m</b> |
|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|

Ds < 50 m, ce qui implique un relief faible selon la classification de l'ORSTOM.

### ▪ Classe d'infiltrabilité du bassin

En prenant en compte le contexte géologique du bassin (Illustration 6) et des classes de perméabilités proposées par RODIER, nous avons un bassin de classe RI (Bassin relativement imperméable, mélange à peu près égales de sol perméables et de sols imperméables).

### ❖ Prédétermination de la crue du projet

#### ▪ Coefficient d'abattement (A)

A partir de la formule de VUILLAME, on a :

|                                                                                                |                                                                                      |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| $A = 1 - \left[ \frac{161 - 0,042 \times \overline{P_{an}}}{1000} \times \text{Log} S \right]$ | $A = 1 - \left[ \frac{161 - 0,042 \times 807}{1000} \times \text{Log}(10,7) \right]$ | <b>A = 0,87</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|

▪ **Coefficient de ruissèlement décennal ( $K_{r10}$ ) et temps de base de la pluie décennale ( $T_{b10}$ ) par la méthode de ORSTOM**

Le bassin versant a un indice de pente  $I_g = 6,3$  m/km. Le calcul de  $K_{r10}$  s'est fait par interpolation linéaire entre les valeurs des indices de pentes  $I_g = 3$  et  $I_g = 7$  avec les pluies de 70 mm et celle de 100 mm. Après identification des paramètres, les coefficients  $K_{r70}$  et  $K_{r100}$  ainsi que les temps de base  $T_{b10}$  ont été calculés pour les indices de pentes  $I_g = 3$  et  $I_g = 7$ . Par suite, ces valeurs ont été interpolées pour obtenir celles de  $I_g = 6,3$ . Les expressions utilisées sont :

Pour  $K_{r10}$  :

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

Pour  $T_{b10}$  :

$$T_{b10} = a * S^{0,36} + b$$

- $I_g = 3 \rightarrow a = 325$  et  $b = 315$
- $I_g = 7 \rightarrow a = 163$  et  $b = 142$

Et enfin, on aboutit aux résultats ci-dessous avec  $S = 10,7 \text{ km}^2$  :

| $I_g$ | Paramètres $K_{r70}$ |    |      | Paramètres $K_{r100}$ |    |    | $K_{r70}$<br>(%) | $K_{r100}$<br>(%) | $K_{r10}$<br>(%) | $T_{b10}$<br>(min) |
|-------|----------------------|----|------|-----------------------|----|----|------------------|-------------------|------------------|--------------------|
|       | a                    | b  | c    | a                     | b  | c  |                  |                   |                  |                    |
| 3     | 150                  | 20 | 15   | 200                   | 30 | 17 | 20               | 22                | 22               | 1078               |
| 6,3   |                      |    |      |                       |    |    | 24,1             | 26,8              | 26,3             | 622                |
| 7     | 200                  | 20 | 18,5 | 240                   | 30 | 22 | 25               | 28                | 27               | 525                |

Conformément à la « *check list 3a4a* », le coefficient de ruissèlement  $K_{r10}$  obtenu a été majoré de **20%**. Ce qui donne en fin de compte  $K_{r10} = 32\%$ .

▪ **Temps de montée de la pluie décennale ( $T_{m10}$ )**

Dans la zone tropicale sèche, en absence de particularités physiographiques, l'on peut considérer que le temps de montée représente le tiers du temps de base [5].

|                                 |                             |                                                                  |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|
| $T_{m10} = 0,33 \times T_{b10}$ | $T_{m10} = 0,33 \times 622$ | <b><math>T_{m10} = 205,32 \text{ min} = 3,4 \text{ h}</math></b> |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|

Pour apprécier la justesse de la valeur trouvée, nous avons effectué une comparaison avec des études antérieures parmi lesquelles les résultats d'une étude effectuée par le CIEH.

L'illustration ci-contre permet d'estimer  $T_{m10}$ . En considérant dans notre cas une superficie de bassin  $S = 10,7 \text{ km}^2$  et la classe R3 avec l'hypothèse de  $P_{10} = 100 \text{ mm}$  on obtient approximativement  $T_{m10} = 2,8 \text{ h}$ . Nous avons trouvé à travers nos estimations la valeur de  $T_{m10} = 3,4 \text{ h}$ . Les deux résultats étant dans les mêmes ordres de grandeurs, nous sommes rassurés du résultat trouvé.

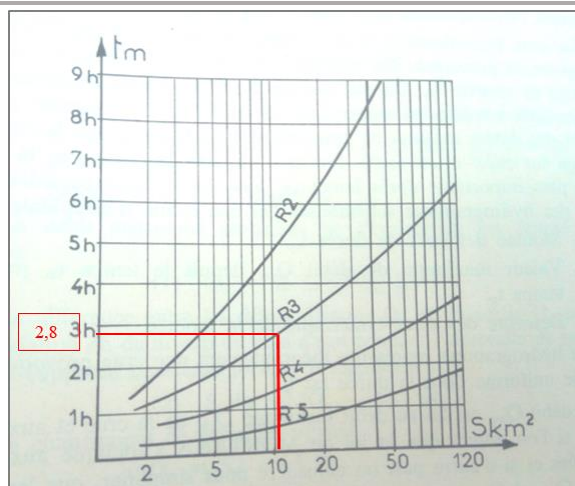


Illustration 5 : Temps de montée en régime tropical

Source : CIEH, 1979

#### ▪ Coefficient de pointe de la pluie décennal ( $\alpha_{10}$ )

Le coefficient de pointe de la crue décennale ( $\alpha_{10}$ ) dans de nombreux cas, est assimilé à une constante et égale à **2,6**. Toutes fois, l'utilisation de la « *check list* » est importante pour d'éventuelle correction en fonction des caractéristiques du bassin versant et du réseau hydrographique. Dans le cadre de ce travail, la valeur de  $\alpha_{10} = 2,6$  a été adoptée comme coefficient de pointe décennale.

#### ▪ Coefficient de ruissèlement décennal par la méthode CIEH

En se référant au substrat géologique du bassin (Illustration 6), nous recensons une grande formation dominante composée de granites et de roches migmatites. On a donc 100% de granites + gneiss, d'où la valeur de  $K_{r10}$  que l'on obtient comme suit :

|                  |                              |                                |                                    |
|------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Granite + gneiss | $K_{r10} = 2300.Pan^{-0,67}$ | $K_{r10} = 2300.(807)^{-0,67}$ | <b><math>K_{r10} = 26\%</math></b> |
|------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|

En raison de la grande incertitude liée à la méthode CIEH telle que mentionné dans le manuel, la valeur de  $K_{r10}$  obtenue par la méthode ORSTOM après correction ( **$K_{r10} = 32\%$** ) a été utilisée pour le reste du travail.

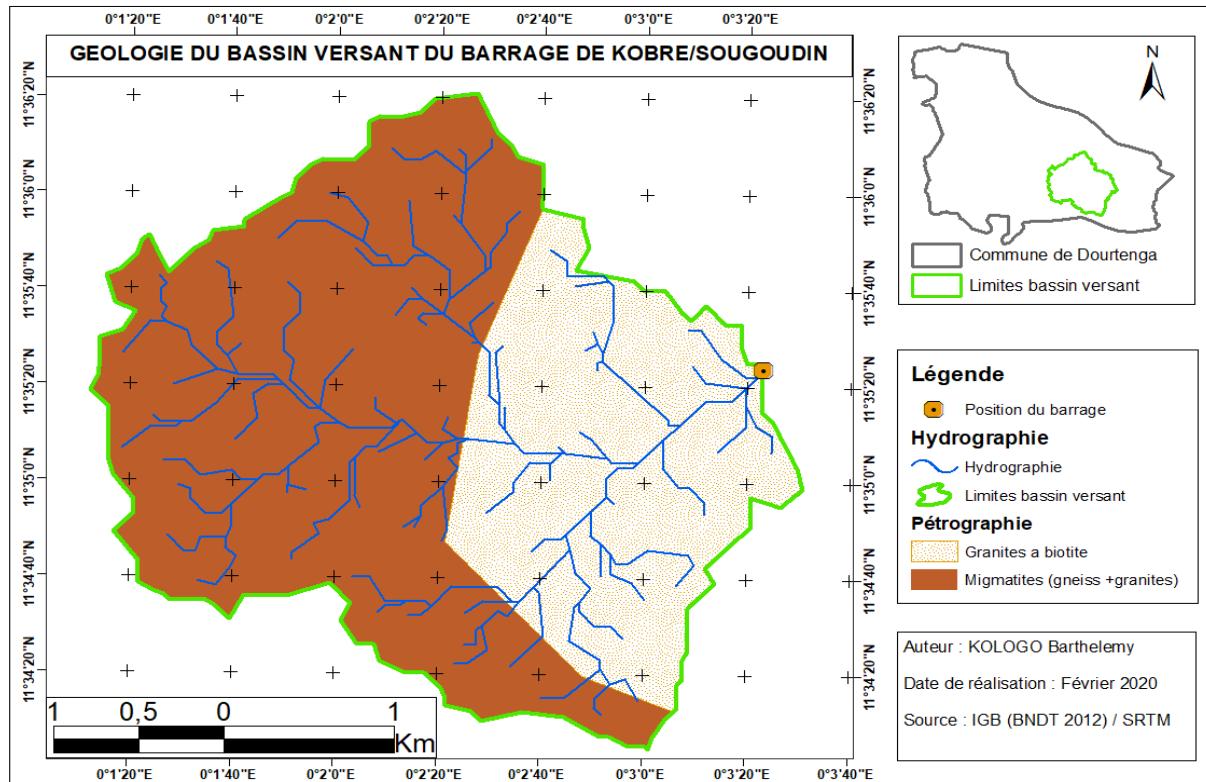


Illustration 6 : Géologie du bassin versant du barrage de Kobre

#### ■ Calcul de la crue décennale par la méthode ORSTOM

Elle s'obtient en multipliant le débit de ruissellement par un coefficient « m » pour prendre en compte l'écoulement retardé. La valeur du coefficient en zone tropical sèche pour des petits bassins versant imperméables (jusqu'à quelques dizaines de km<sup>2</sup>) est prise égale à **1,03** [20].

|                                                                    |                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $Q_{r10} = A * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * \frac{S}{T_{b10}}$ | $Q_{r10} = 0,87 * 95 * 0,32 * 2,6 * \frac{10,7 * 1000}{622 * 60} = 19,5$ |
| $m = 1,03$                                                         | Petit bassin versant en zone tropical sèche                              |
| $Q_{10} = m * Q_{r10}$                                             | $Q_{10} = 1,03 * 19,5 = 20$                                              |
| <b><math>Q_{10} = 20 \text{ m}^3/\text{s}</math></b>               |                                                                          |

#### ■ Calcul de la crue décennale par la méthode CIEH

PUECH et CHABI-GONNI ont proposé une méthode statistique en 1983, connu sous le nom de méthode CIEH à partir de l'étude de 162 bassins versants expérimentaux [5]. La formule générale est basée sur la régression multiple des différents paramètres qui influencent l'écoulement. Plusieurs équations sont proposées en fonction des découpages climatiques par régions ou par groupes de pays. Les coefficients d'ajustement *s*, *p*, *i*, *k* et *d* sont déterminés à travers une régression multiple par palier. Les paramètres qui présentent une bonne corrélation avec le débit sont la surface (*S*), l'indice global de pente (*Ig*) et le coefficient de ruissèlement

décennal (Kr10). Les équations identifiées dans le cadre de notre travail sont présentées dans le tableau ci-après et la valeur moyenne calculée a été considérée.

$$Q_{10} = a * S^s * I_g^i * K_{r10}^k$$

| N°<br>équation | Paramètre |       |       |       | $Q_{10}$ (m³/s) | Débit moyen<br>calculé<br>(m³/s) | Débit corrigé<br>« check-list<br>3a1b » (m³/s) |
|----------------|-----------|-------|-------|-------|-----------------|----------------------------------|------------------------------------------------|
|                | A         | s     | i     | k     |                 |                                  |                                                |
| 12             | 0,095     | 0,643 | 0,406 | 1,038 | 33,1            | 28, 8                            | 26                                             |
| 18             | 0,0678    | 0,661 | 0,412 | 1,105 | 31,4            |                                  |                                                |
| 27             | 0,560     | 0,619 | 0,279 | 0,510 | 23,6            |                                  |                                                |
| 40             | 0,254     | 0,462 | 0,101 | 0,976 | 26,6            |                                  |                                                |
| 42             | 0,0912    | 0,643 | 0,399 | 1,019 | 29,4            |                                  |                                                |

Le réseau hydrographique présente trois ensembles de cours d'eau (Figure 8) laissant présager un décalage de leurs apports respectifs, par conséquent, le débit obtenu par cette méthode a été réduit de 10% conformément à la « check list 3a1b ».

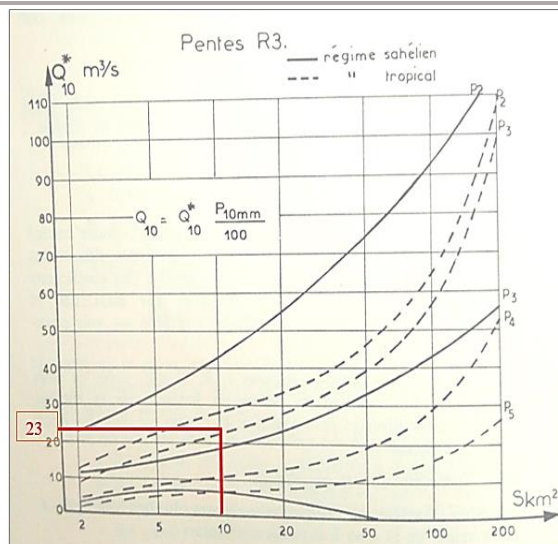
#### ▪ Crue décennale retenue

Il s'agit de la valeur maximale obtenues par les méthodes ORSTOM et CIEH.

| Débit décennale calculé |                                    | Débit décennale retenue (CIEH)     |
|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| ORSTOM                  | $Q_{10} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ | $Q_{10} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| CIEH                    | $Q_{10} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$ |                                    |

Tout comme le temps de montée, nous avons également voulu comparer nos résultats à ceux trouvés par les études du CIEH dans le même contexte. Le résumé de l'analyse se présente comme suit :

Pour des pentes R3 et une pluie décennale de 100 mm, l'illustration ci-contre permet d'estimer le débit décennal  $Q_{10}$ . En considérant la superficie du bassin  $S = 10,7 \text{ km}^2$ , classe de perméabilité P3 (RI) avec l'hypothèse de la pluie décennale  $P_{10} = 100 \text{ mm}$  on obtient environ  $Q_{10} = 23 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dans notre cas, la pluie décennale vaut  $P_{10} = 95 \text{ mm}$ , et nous avons trouvé un débit décennal  $Q_{10} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$ . En raison de la faiblesse de l'écart, nous retenons la valeur de la crue décennale  $Q_{10} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$  pour notre étude.



**Illustration 7 :** Débit décennal pour une pluie décennale de 100 mm et des pentes R3

**Source :** CIEH, 1979

#### ▪ Crue du projet

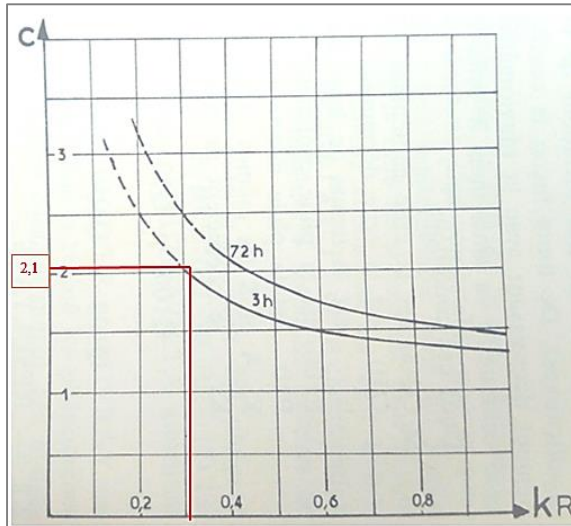
La crue correspondante est évaluée selon la méthode du GRADEX qui suppose qu'au-delà d'une certaine période de retour, tout ce qui tombe ruissèle. Elle se calcul comme suit à partir d'une relation linéaire :

|                                                                                                         |                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{\left(\frac{T_{b10}}{24}\right)^{0,12}}{K_{r10}}$ | $C = 1 + \frac{133 - 95}{95} \times \frac{\left(\frac{622,18}{60 \times 24}\right)^{0,12}}{0,32} = 2,16$ |
| $Q_{100} = C \times Q_{10}$                                                                             | $Q_{100} = 2,16 \times 26 = 56,12$                                                                       |
| <b>Crue de projet retenu: <math>Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}</math></b>                            |                                                                                                          |

Dans la même démarche de comparaison et dans le but d'être rassuré par rapport à nos résultats, nous avons comparé les valeurs du coefficient de majoration (C) et celle du débit centennale ( $Q_{100}$ ) trouvées avec celles de l'abaque proposé par le CIEH.

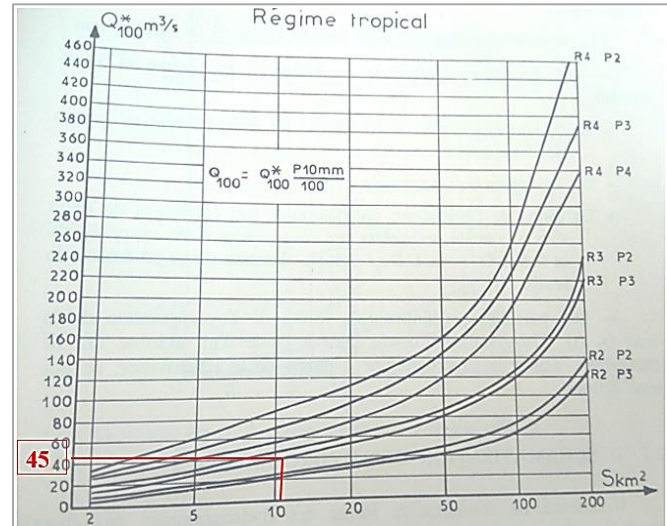
En considérant l'illustration 8, le coefficient de majoration pour un bassin en zone tropical ayant un coefficient de ruissellement de 32% et un temps de base de 10,3 h (obtenu par interpolation sur le graphique) est d'environ  $C = 2,1$ . Ce qui n'est pas différent de ce que nous avons trouvé ( $C = 2,16$ ). Ensuite, l'illustration 9 permet d'avoir le débit centennale en fonction de la classe de pente, la perméabilité du bassin pour une pluie décennale de 100 mm. En considérant les informations de notre bassin ( $S = 10,7 \text{ km}^2$ , classe R3 et perméabilité P3), on

obtient graphiquement un débit centennal  $Q_{100} = 45 \text{ m}^3/\text{s}$  contre  $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$  que nous avons obtenu. Nos résultats étant dans les mêmes ordre de grandeur que ceux proposés par l'abaque du CIEH, cela nous rassure dans la suite de nos travaux et nous maintenons pour ce projet la valeur de :  $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Illustration 8 :** Coefficient de majoration en zone tropicale

Source : CIEH, 1979



**Illustration 9 :** Débit centennal pour une pluie décennale de 100 mm en régime tropical

Source : CIEH, 1979

### ▪ Crue de rupture du barrage

La crue de rupture désigne la crue que le barrage peut supporter dans des conditions exceptionnelles sans subir des dommages. Au-delà de cette crue, le barrage pourrait subir des dommages considérables. Le Comité International des Grands Barrages (CIGB) propose la formule approchée ci-dessous pour son estimation.

|                                            |                                                  |                                  |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|
| $Q_r = 2 * l * (a + 0,2)^{1,5} + 0,15 * L$ | $Q_r = 2 * 30 * (1,55 + 0,2)^{1,5} + 0,15 * 995$ | $Q_r = 311 \text{ m}^3/\text{s}$ |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|

### ▪ Hydrogramme de crues

L'hydrogramme schématique est construit à l'aide du débit de projet, le temps de base, le temps de montée et le débit de discontinuité. Ce dernier s'obtient comme suit :

|                                                                                                       |                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_d = \frac{2 * Q_p}{\alpha_{10}} * \frac{(T_{b10} - \alpha_{10} * T_{m10})}{T_{b10} - 2 * T_{m10}}$ | $Q_d = \frac{2 * 56}{2,6} * \frac{(622,18 - 2,6 * 205,32)}{622,18 - 2 * 205,32} = 18 \text{ m}^3/\text{s}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Le temps correspondant à ce débit s'obtient à partir de l'équation de la droite de montée. Cette droite étant symétrique à la droite de décrue avant le changement de pente, on calcule le temps correspondant au débit de discontinuité par la relation :  $T = T_{m10} + \Delta T$ , sachant que  $\Delta T$  se calcul avec l'équation de la droite de montée (Illustration 10). Enfin, on obtient tous les paramètres de l'hydrogramme schématique comme suit :

| Désignation                          | Symbole         | Unité   | Valeur |
|--------------------------------------|-----------------|---------|--------|
| Débit maximal (cru  du projet)       | $Q_{max}$       | $m^3/s$ | 56     |
| Débit de discontinuité               | $Q$             | $m^3/s$ | 18     |
| Temps de base de la crue décennale   | $T_{b10}$       | min     | 622,18 |
| Temps de montée de la crue décennale | $T_{m10}$       | min     | 205,32 |
| Equation de la droite de montée      | $Y = 0,273 * X$ |         |        |
| Temps du débit de discontinuité      | $T$             | min     | 344,67 |

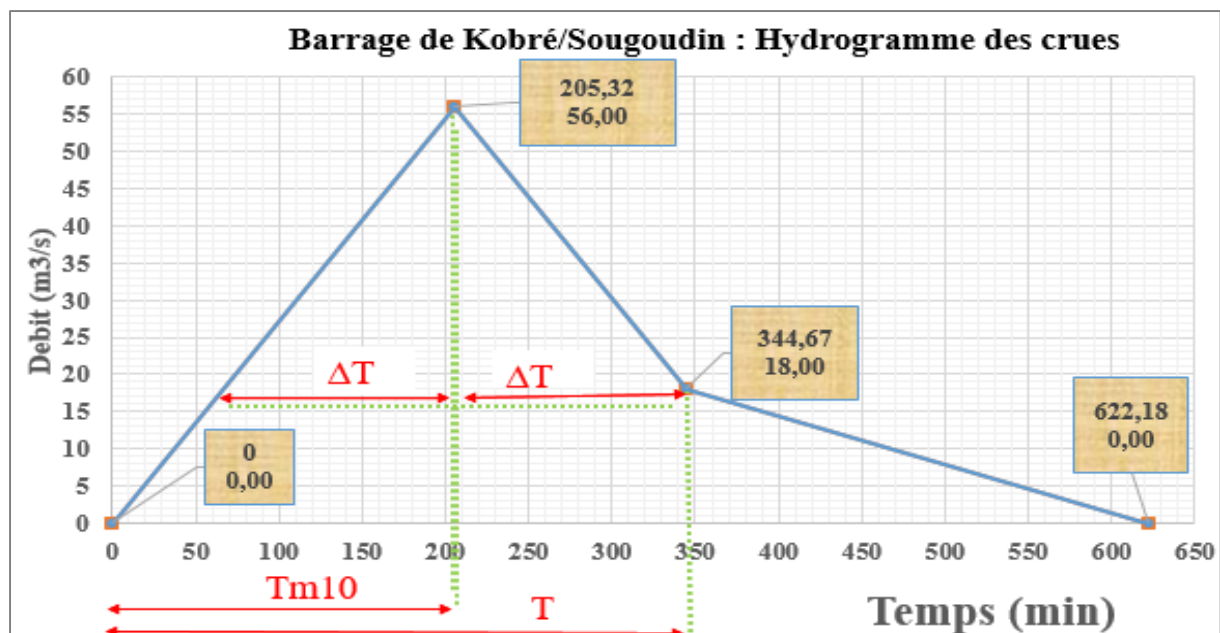


Illustration 10 : Hydrogramme schématique des crues

#### ❖ Evaluation des apports liquides du bassin versant

##### ▪ Calcul du coefficient d'écoulement par la méthode de RODIER

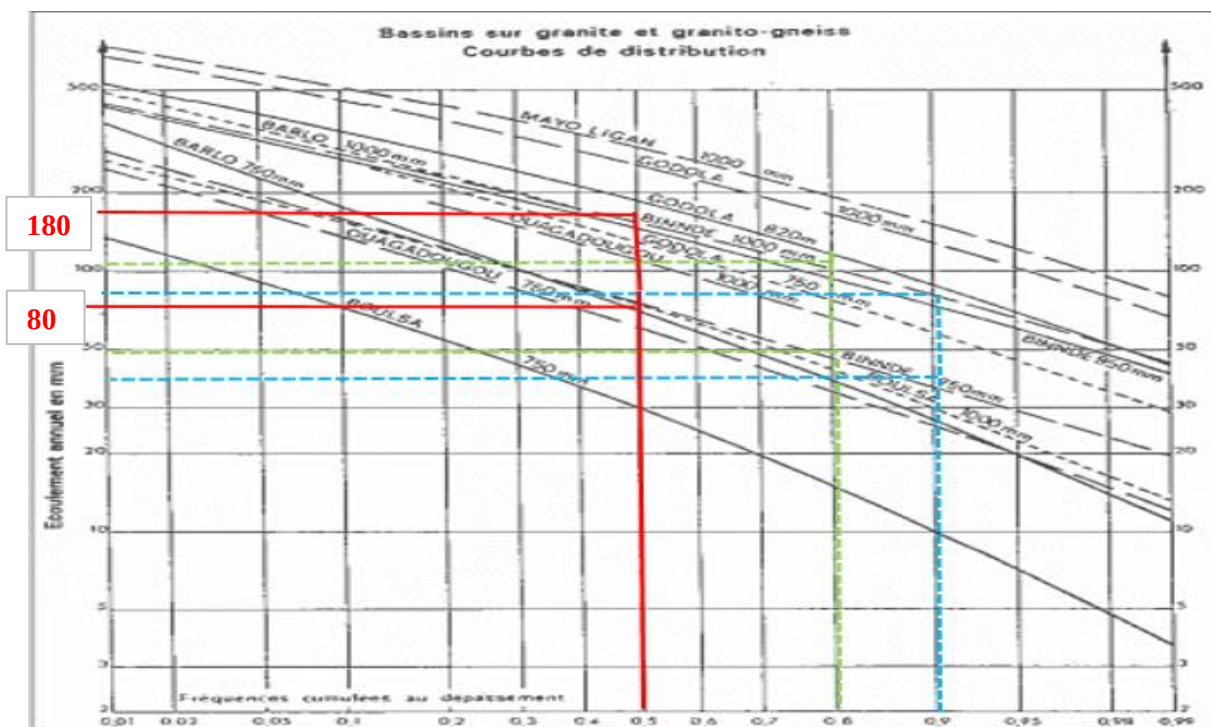
Par application de cette méthode, le bassin étudié a une pluviométrie annuelle comprise entre 750 et 1000 mm, et s'identifie au bassin versant de Bind  dans la commune Manga (Burkina Faso) situé dans le même régime climatique et présentant des caractéristiques morphologiques similaires à celui de Kobr . La lecture dans Illustration 11 des valeurs correspondant à la

hauteur des pluies  $P_{med} = 750$  mm et  $P_{med} = 1000$  mm suivi de l'interpolation logarithmique permet de calculer la lame d'eau et par la suite le coefficient d'écoulement annuel.

$$P_{med} = 0,98 * P_{an} - 0,6 \quad P_{med} = 0,98 * 807 - 0,6 \quad P_{med} = 784 \text{ mm}$$

$$\begin{cases} \text{Log}(Le_{med}) = \text{Log}(Le_{750}) + [\text{Log}(Le_{1000}) - \text{Log}(Le_{750})] * \frac{784 - 750}{1000 - 750} \\ Le_{med} = 10^{\text{Log}(Le_{med})} \text{ et } Ke = \frac{Le_{med}}{P_{med}} \end{cases}$$

| Fréquences         | Le <sub>750</sub> (mm) | Le <sub>1000</sub> (mm) | Le <sub>784</sub> (mm) | Ke (%) |
|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|--------|
| Médiane            | 80                     | 180                     | 89,35                  | 11,40  |
| Quinquennale sèche | $Ke_{10} = 0,7 * Ke$   | $Ke_{10} = 0,7 * 11,40$ |                        | 8      |
| Décennale sèche    | $Ke_{10} = 0,5 * Ke$   | $Ke_{10} = 0,5 * 11,40$ |                        | 5,7    |



**Illustration 11** : Abaque pour le calcul du coefficient d'écoulement

On obtient avec la méthode de RODIER un coefficient d'écoulement annuel ( $Ke$ ) de 11,40% ; les coefficients d'écoulement quinquennale et décennale sèche par approximation de l'approche de l'ONBAH donne respectivement  $Ke_5 = 8\%$  et  $Ke_{10} = 5,7\%$ .

### ▪ Calcul du coefficient d'écoulement par la méthode de COUTAGNE

Le calcul par la méthode de COUTAGNE suit la procédure suivante

| Formule                                                                       | Application numérique                              | Résultat            |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|
| $\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 * T}$                                          | $\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 * 28}$              | $\lambda = 0,21$    |
| $\frac{1}{8\lambda}$ et $\frac{1}{2\lambda}$                                  | $\frac{1}{8 * 0,21}$ et $\frac{1}{2 * 0,21}$       | 0,59 et 2,36        |
| $P(m) = P(mm) * 0,001$                                                        | $P = 0,001 * 807$                                  | $P(m) = 0,81$       |
| On a $P(m) \in \left[ \frac{1}{8\lambda}; \frac{1}{2\lambda} \right]$ , alors |                                                    |                     |
| $D(m) = P(m) - \lambda P^2(m)$                                                | $D = 0,81 - 0,21 * (0,81)^2$                       | $D(m) = 0,67$       |
| $Le(m) = P(m) - D(m)$                                                         | $Le = 0,81 - 0,67$                                 | $Le = 0,14$         |
| $K_e(\%) = \left( \frac{Le}{P} \right) * 100$                                 | $K_e(\%) = \left( \frac{0,14}{0,81} \right) * 100$ | $K_e(\%) = 17,3$    |
| $K_{e5}(\%) = 0,7 * K_e$                                                      | $K_{e5} = 0,7 * 17,3$                              | $K_{e5}(\%) = 12$   |
| $K_{e10}(\%) = 0,5 * K_e$                                                     | $K_{e10} = 0,5 * 17,3$                             | $K_{e10}(\%) = 8,6$ |

La méthode de COUTAGNE donne un coefficient d'écoulement annuel égal à 17,3%, les coefficients d'écoulement quinquennale et décennale sèche par approximation de la méthode de l'ONBAH donne respectivement  $K_{e5} = 12\%$  et  $K_{e10} = 8,6\%$ .

### ▪ Apports liquides du bassin versant

En résumé, les apports liquides du bassin évalués à partir des méthodes de RODIER et de COUTAGNE donne les résultats consignés dans le tableau ci-dessous.

| Désignation                |                               | Annuelle  | Quinquennale sèche | Décennale sèche |
|----------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------|-----------------|
| <b>Bassin versant</b>      | Superficie (km <sup>2</sup> ) | 10,7      |                    |                 |
|                            | Pluie (mm)                    | 807       | 688                | 625             |
| <b>Méthode de RODIER</b>   | Ke (%)                        | 11,40     | 8                  | 5,7             |
|                            | Apports (m <sup>3</sup> )     | 983 964   | 587 433            | 381 635         |
| <b>Méthode de COUTAGNE</b> | Ke (%)                        | 17,10     | 12                 | 8,6             |
|                            | Apports (m <sup>3</sup> )     | 1 476 348 | 881 389            | 572 608         |

### ❖ Evaluation des besoins agricoles

**Légende :** Kc : Coefficient cultural ; ETo : Evapotranspiration de référence ; ETM : Evapotranspiration maximale (ETM=Kc\*ET0) ; Pe : Pluie efficace ; BN : Besoins nets (BN=ETM-Pe) ; Ea : Efficience d'irrigation ; BB : Besoins brutes (BB=BN/Ea)

| Spéculation | Paramètre                                                | Nov.<br>30 jr | Déc.<br>31 jr | Janv.<br>31 jr | Fév.<br>28 jr | Mar.<br>31 jr | Avr.<br>30 jr |
|-------------|----------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Tomate      | Kc/mois                                                  | 0,45          | 0,75          | 1,03           | 1,15          | 0,99          | 0,80          |
|             | ET0 (mm)                                                 | 158           | 169           | 173            | 172           | 200           | 198           |
|             | ETM (mm)                                                 | 71            | 127           | 179            | 198           | 198           | 158           |
|             | Pluie (mm)                                               | 2             | 1             | 1              | 1             | 5             | 28            |
|             | Peffi (mm)                                               | 2             | 1             | 1              | 1             | 5             | 22            |
|             | BN (mm)                                                  | 69            | 126           | 178            | 197           | 193           | 136           |
|             | Ea                                                       | 60%           | 60%           | 60%            | 60%           | 60%           | 60%           |
|             | BB (mm)                                                  | 116           | 210           | 297            | 329           | 323           | 227           |
|             | <b>BB (m3/ha)</b>                                        | <b>1 160</b>  | <b>2 100</b>  | <b>2 970</b>   | <b>3 290</b>  | <b>3 230</b>  | <b>2 270</b>  |
|             | <b>Besoin totaux pour tout le cycle (m³/ha) : 15 020</b> |               |               |                |               |               |               |
| Oignon      | Kc/mois                                                  | 0,63          | 0,95          | 1,05           | 1,01          | 0,85          | 0,85          |
|             | ET0 (mm)                                                 | 158           | 169           | 173            | 172           | 200           | 198           |
|             | ETM (mm)                                                 | 99            | 161           | 182            | 173           | 170           | 168           |
|             | Pluie (mm)                                               | 2             | 1             | 1              | 1             | 5             | 28            |
|             | Peffi (mm)                                               | 2             | 1             | 1              | 1             | 5             | 22            |
|             | BN (mm)                                                  | 97            | 160           | 181            | 172           | 165           | 146           |
|             | Ea                                                       | 60%           | 60%           | 60%            | 60%           | 60%           | 60%           |
|             | BB (mm)                                                  | 162           | 267           | 302            | 288           | 276           | 244           |
|             | <b>BB (m3/ha)</b>                                        | <b>1 620</b>  | <b>2 670</b>  | <b>3 020</b>   | <b>2 880</b>  | <b>2 760</b>  | <b>2 440</b>  |
|             | <b>Besoin totaux pour tout le cycle (m³/ha) : 15 390</b> |               |               |                |               |               |               |
| Choux       | Kc/mois                                                  | 0,45          | 0,65          | 0,75           | 0,96          | 1,05          | 0,90          |
|             | ET0 (mm)                                                 | 158           | 169           | 173            | 172           | 200           | 198           |
|             | ETM (mm)                                                 | 71            | 110           | 130            | 166           | 210           | 178           |
|             | Pluie (mm)                                               | 2             | 1             | 1              | 1             | 5             | 28            |
|             | Peffi (mm)                                               | 2             | 1             | 1              | 1             | 5             | 22            |
|             | BN (mm)                                                  | 69            | 109           | 129            | 165           | 205           | 156           |
|             | Ea                                                       | 60%           | 60%           | 60%            | 60%           | 60%           | 60%           |
|             | BB (mm)                                                  | 116           | 183           | 215            | 275           | 342           | 260           |
|             | <b>BB (m3/ha)</b>                                        | <b>1 160</b>  | <b>1 830</b>  | <b>2 150</b>   | <b>2 750</b>  | <b>3 420</b>  | <b>2 600</b>  |
|             | <b>Besoin totaux pour tout le cycle (m³/ha) : 13 910</b> |               |               |                |               |               |               |
| Mais        | Kc/mois                                                  | 0,54          | 0,88          | 1,15           | 0,77          | 0,70          |               |
|             | ET0 (mm)                                                 | 158           | 169           | 173            | 172           | 200           |               |
|             | ETM (mm)                                                 | 85            | 149           | 199            | 132           | 140           |               |
|             | Pluie (mm)                                               | 2             | 1             | 1              | 1             | 5             |               |
|             | Peffi (mm)                                               | 2             | 1             | 1              | 1             | 5             |               |
|             | BN (mm)                                                  | 83            | 148           | 198            | 131           | 135           |               |
|             | Ea                                                       | 60%           | 60%           | 60%            | 60%           | 60%           |               |
|             | BB (mm)                                                  | 139           | 247           | 330            | 220           | 226           |               |
|             | <b>BB (m3/ha)</b>                                        | <b>1 390</b>  | <b>2 470</b>  | <b>3 300</b>   | <b>2 200</b>  | <b>2 260</b>  |               |
|             | <b>Besoin totaux pour tout le cycle (m³/ha) : 11 640</b> |               |               |                |               |               |               |

On constate que l'oignon est la spéculation la plus contraignante dans la campagne agricole avec des besoins évalués à 15 390 m³/ha. En rapportant les besoins à la superficie totale aménageable qui est de **20 ha**, les besoins agricoles par campagne s'élèvent à **307 800 m³**.

## ❖ Evaluation des besoins pastoraux

### ▪ Effectif du cheptel et projection à l'horizon du projet

| Type     | Effectif 2017 | Taux de croissance moyen (%) | Effectif en 30 ans | Facteur de conversion en UBT | Nombre de UBT |
|----------|---------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| Asins    | 260           | 2                            | 500                | 1,25                         | 400           |
| Bovins   | 2 807         |                              | 5 396              | 1,25                         | 4 316         |
| Caprins  | 4 148         |                              | 7 974              | 10                           | 797           |
| Equins   | 17            |                              | 33                 | 1,25                         | 26            |
| Ovins    | 3 277         |                              | 6 300              | 10                           | 630           |
| Pintades | 2 166         |                              | 4 164              | 100                          | 42            |
| Porcins  | 541           |                              | 1 040              | 5                            | 208           |
| Poules   | 7 547         |                              | 14 508             | 100                          | 145           |

### ▪ Estimation des besoins pastoraux

| Désignation                               | Unité/Symbole                  | Résultat     |
|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------|
| Nombre de UBT à l'horizon projet (30 ans) | UBT                            | 6 566        |
| Consommation journalière                  | Cs (l/UBT/jr)                  | 20           |
| Besoins journalier                        | Bj (l/jr)                      | 131 320      |
| Majoration de 15% (transhumance)          | Bj (l/jr)                      | 151 018      |
| <b>Consommation mensuelle</b>             | <b>Cm (m<sup>3</sup>/mois)</b> | <b>4 531</b> |

Ainsi, les besoins pastoraux à l'horizon du projet s'élèvent en moyenne à **4 531 m<sup>3</sup>/mois**.

## ❖ Evaluation des besoins humains

| Désignation                                       | Unité/Symbole                  | Résultat       |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Taille de la population en 2020 (projection INSD) | P0                             | 3 500          |
| Taux d'accroissement                              | (%)                            | 3,09           |
| Horizon du projet (30 ans)                        | n                              | 2 050          |
| Population à l'horizon du projet                  | Pn                             | 8 721          |
| Consommation journalière                          | Cj (l/personne/jr)             | 20             |
| Consommation total journalière                    | Cjn (l/j)                      | 174 420        |
| Majoration de 15% (prélèvements occasionnels)     | Cjn (l/j)                      | 200 583        |
| <b>Consommation mensuelle</b>                     | <b>Cm (m<sup>3</sup>/mois)</b> | <b>6 017,5</b> |

Les besoins humains évalués s'élèvent à **6 017,5 m<sup>3</sup>/mois** à l'horizon du projet.

## Annexe 6 : Etude de la digue

### La hauteur des vagues (hv)

La longueur du fetch a été obtenu en mesurant la longueur du plan d'eau à partir de la digue

|                                                                  |                                               |                        |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|
| $h_v = 0,75 + 0,34 \sqrt{f} - 0,36 \sqrt[4]{f}$                  | $0,75 + 0,34 \sqrt{1,3} - 0,36 \sqrt[4]{1,3}$ | $h_v = 0,75 \text{ m}$ |
| Moyenne de la hauteur des vagues retenue : $h_v = 0,8 \text{ m}$ |                                               |                        |

### La vitesse des vagues (Vv)

|                                       |                                         |                       |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|
| $V_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} h_v$ | $V_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} * 0,8$ | $V_v = 2 \text{ m/s}$ |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|

### La revanche libre (R)

|                                                           |                                                      |                      |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------|
| $R = A \left[ h_v + \frac{V_v^2}{2g} \right]$             | $R = 0,75 * \left[ 0,8 + \frac{2^2}{2 * 10} \right]$ | $R = 0,75 \text{ m}$ |
| Valeur retenue de la revanche libre : $R = 0,8 \text{ m}$ |                                                      |                      |

### Hauteur de la digue (Hd)

La hauteur de la digue prend en compte la hauteur de la retenue ( $H_r = 5,75 \text{ m}$ ) correspondant à la hauteur maximale de l'eau au plan d'eau normal par rapport au lit mineur, la charge ( $h = 0,75 \text{ m}$ ) admise au-dessus du seuil du déversoir et la revanche libre (R). Elle s'obtient comme suit :

|                                                               |                           |                        |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| $H_d = H_r + R + h$                                           | $H_d = 5,75 + 0,8 + 0,75$ | $H_d = 7,30 \text{ m}$ |
| Hauteur maximale de la digue retenue : $H_d = 7,50 \text{ m}$ |                           |                        |

### La largeur en crête (Lc)

| Auteur                                                   | Formule                    | Application                | Résultat         |
|----------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| KNAPPEN                                                  | $L_c = 1,65 \sqrt{H_d}$    | $L_c = 1,65 \sqrt{7,5}$    | $4,52 \text{ m}$ |
| PREECE                                                   | $L_c = 1,1 \sqrt{H_d} + 1$ | $L_c = 1,1 \sqrt{7,5} + 1$ | $4,01 \text{ m}$ |
| Largeur en crête moyenne retenue : $L_c = 4,5 \text{ m}$ |                            |                            |                  |

### ▪ Largeur en base ( $L_b$ )

La largeur en base du barrage est obtenue en considérant une pente unique de 1V/2H pour les deux talus aval et amont vérifiant les différentes conditions de stabilité. On a :

|                                                                                     |                       |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| $L_b = L_c + 4 * H_d$                                                               | $L_b = 4,5 + 4 * 7,5$ | $L_b = 34,5 \text{ m}$ |
| <b>La largeur en base de la digue vaut donc : <math>L_b = 34,5 \text{ m}</math></b> |                       |                        |

### ▪ Protection des talus par des enrochements

Le tableau ci-dessous donne la valeur de  $D_{50}$  en fonction de la hauteur des vagues.

| Hauteur des vagues $h_v$ (m) | $D_{50}$ (m) |
|------------------------------|--------------|
| [0 ; 0,3]                    | 0,20         |
| [0,3 ; 0,6]                  | 0,25         |
| <b>[0,6 ; 1,2]</b>           | <b>0,30</b>  |
| [1,2 ; 1,8]                  | 0,40         |
| [1,8 ; 2,4]                  | 0,45         |

Dans notre cas, la hauteur des vagues vaut  $h_v=0,8 \text{ m}$  (**[0,6 ; 1,2]**), ce qui correspondant à des enrochements dont  $D_{50} = 0,3 \text{ m}$ . Par suite, l'épaisseur minimale de protection est donnée par :

|                                                                                    |                      |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| $e = 1,5 \times D_{50}$                                                            | $e = 1,5 \times 0,3$ | $e = 0,45 \text{ m}$ |
| <b>Nous retenons une épaisseur de protection : <math>e = 0,50 \text{ m}</math></b> |                      |                      |

### ▪ Vérification de la stabilité des pentes la digue

Les calculs effectués à l'aide du logiciel Geoslope donne un facteur de sécurité minimal égale à 3,6. La condition selon la méthode de Bishop est ainsi satisfaite, d'où le maintien des valeurs choisies pour les pentes des talus amont et aval qui sont, pour rappel, 1V/2H.

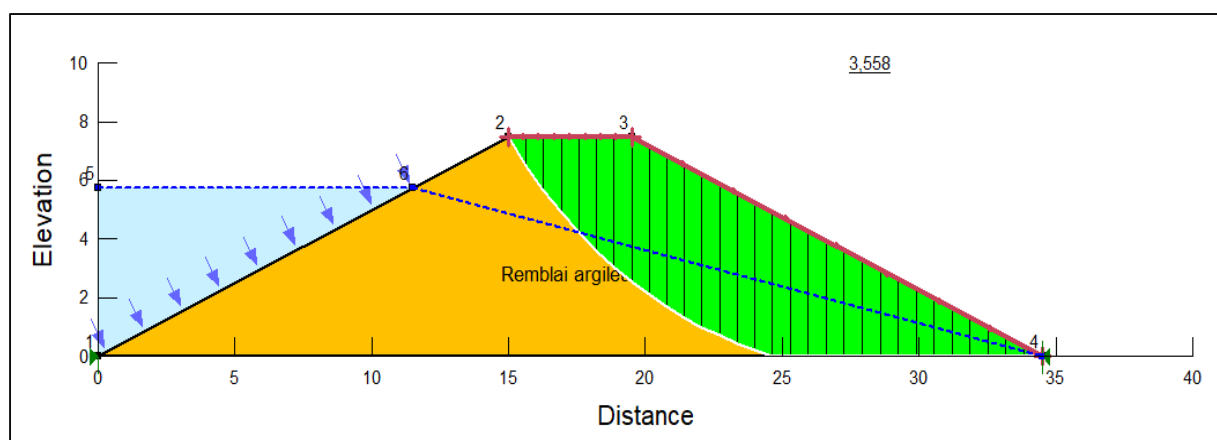


Illustration 12 : Modélisation de l'étude de la stabilité des pentes

### ■ Dimensionnement du drain

Les dimensions du drain sont obtenues après détermination des différents paramètres de la parabole de KOZENY comme le présente l'illustration ci-dessous.

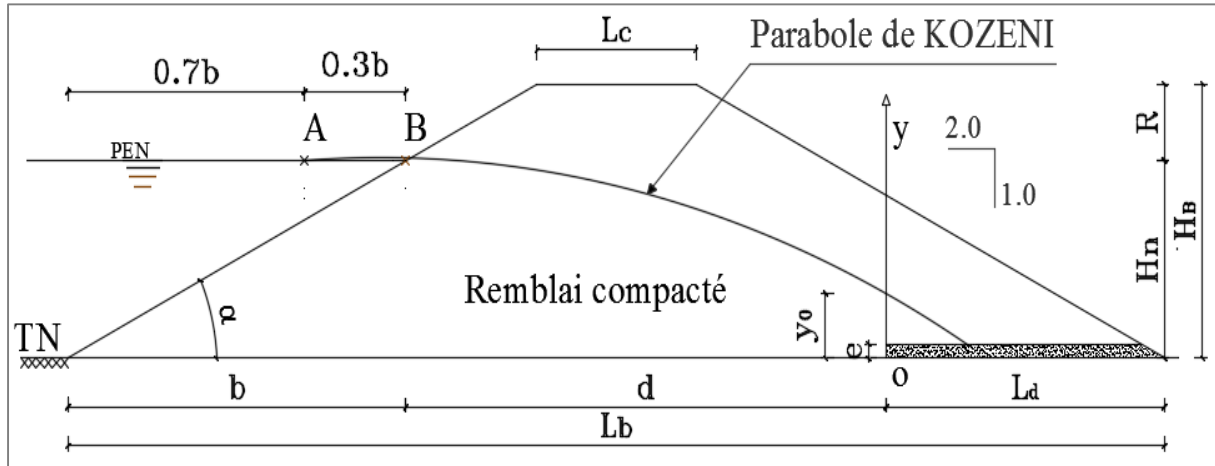


Illustration 13 : Paramètres de calcul du drain avec la parabole de KOZENY

| Paramètre (Formule)                                         | Application                                                        | Résultat              |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| $L_d = \left(\frac{1}{4}\right) * L_b$                      | $L_d = 0,25 * 34,5$                                                | 8,63 m                |
| $b = \frac{H_r}{tg \alpha_1} = 2 * H_r$                     | $b = 2 * 5,75$                                                     | 11,5 m                |
| $d = (l_b - L_d) - 0,7 * b$                                 | $d = (34,5 - 8,63) - 0,7 * 11,5$                                   | 17,8 m                |
| $Y_o = \sqrt{(H_r^2 + d^2)} - d$                            | $Y_o = \sqrt{(5,75^2 + 17,8^2)} - 17,8$                            | 0,9 m                 |
| Perméabilité du remblai (argile) : $K_r = 1,7.10^{-8}m/s$   |                                                                    |                       |
| Perméabilité du drain (sable) : $K_d = 10^{-4}m/s$          |                                                                    |                       |
| $q = K_r * Y_o$                                             | $q = 1,7.10^{-8} * 0,9$                                            | $1,5 * 10^{-8} m^3/s$ |
| $e = 2 * \sqrt{\left(q * \frac{l_d}{K_d}\right)}$           | $e = 2 * \sqrt{\left(1,5 * 10^{-8} * \frac{8,63}{10^{-4}}\right)}$ | 0,10 m                |
| <b>Longueur du drain retenue : <math>L_d = 10 m</math></b>  |                                                                    |                       |
| <b>Epaisseur du drain retenue : <math>e = 0,20 m</math></b> |                                                                    |                       |

### ▪ Tranché d'ancrage

Dans le cas de figure d'une digue en remblai posé sur un sol hétérogène, les trois variantes d'exécution de la tranchée d'ancrage proposées par le CEMAGREF pour résoudre le problème d'étanchéité de la fondation sont : (i) une prétranchée au bulldozer approfondie par une tranchée creusée manuellement et remblayée en argile compactée (Illustration 14), (ii) une tranchée profonde à la pelle mécanique remblayée en argile compactée dynamiquement (Illustration 15) et enfin (iii) une tranchée profonde étroite à la pelle mécanique remplie d'un coulis de bentonite ciment (Illustration 16) [14]. Nous avons opté pour la variante 1 compte tenu des résultats des investigations géotechniques au niveau de l'axe de la digue.

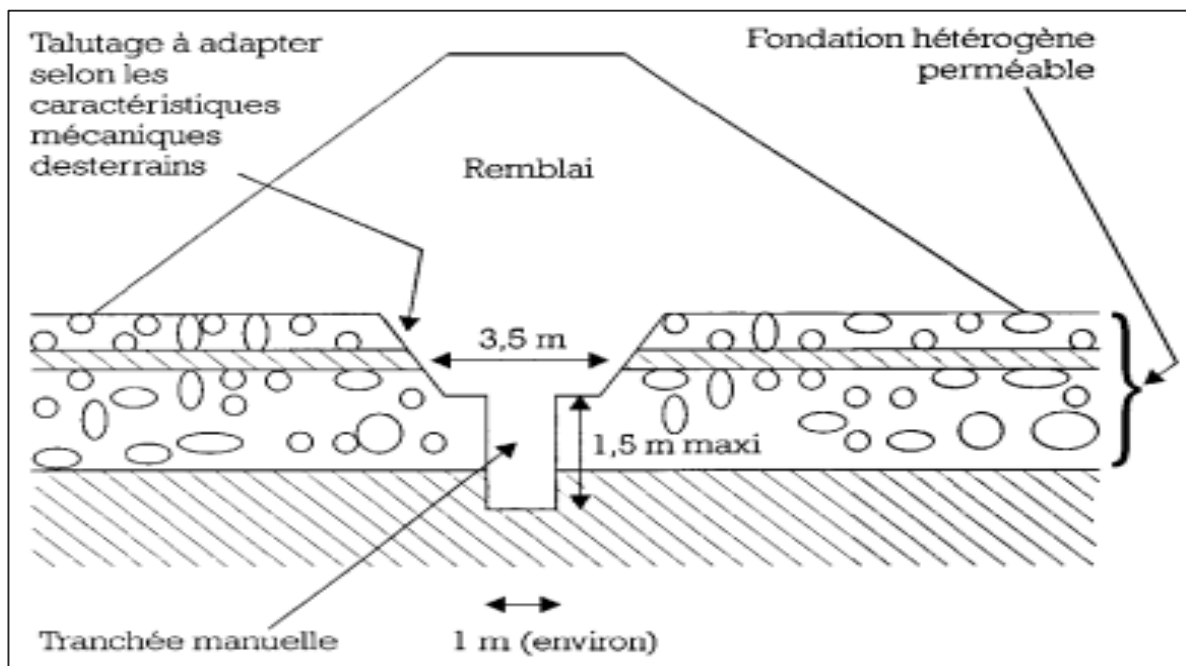


Illustration 14 : Variante 1 de la tranchée

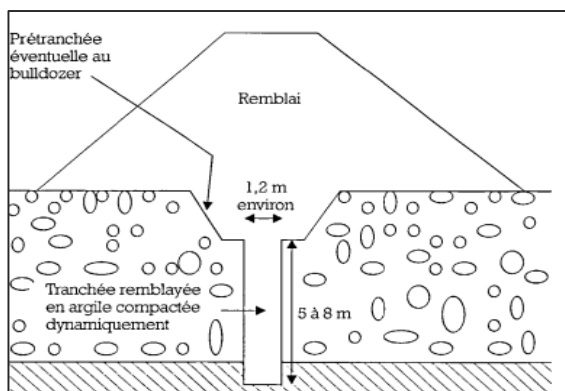


Illustration 15 : Variante 2 de la tranchée

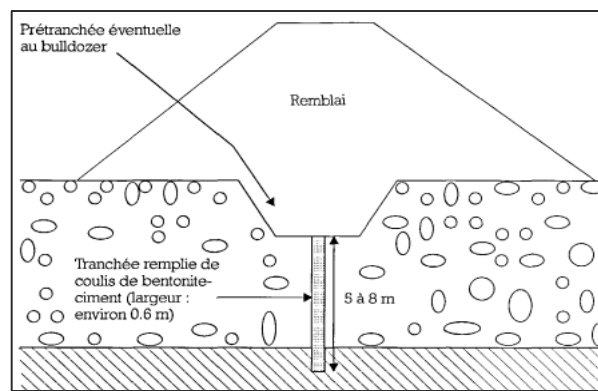


Illustration 16 : Variante 3 de la tranchée

Source : CEMAGREF

## Annexe 7 : Etude du déversoir

### ▪ Détermination de la longueur du déversoir (L)

Le barrage joue un rôle « tampon » de sorte que le maximum de débit à l'évacuateur soit inférieur au maximum de débit de l'hydrogramme. La prise en compte de l'effet du laminage permet d'optimiser la longueur du déversoir sans augmenter le risque de submersion du barrage.

Nous avons utilisé la méthode du « $X_0$ » avec les données suivantes :

- Accélération de la pesanteur :  $g = 10 \text{ m/s}^2$
- Lane d'eau au-dessus du seuil :  $h = 0,75 \text{ m}$
- Largeur en crête (crête arrondie) :  $b_1 = 1 \text{ m}$
- Coefficient de débit du déversoir (Illustration 17) :  $m = 0,39$  ( $h/b_1 = 0,75 \text{ m}$ )
- Temps de montée des eaux de la crue décennale :  $T_{m10} = 3 \text{ h } 25 \text{ min } (12\,319 \text{ s})$
- Débit maximal de l'hydrogramme :  $Q_{\text{cmax}} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$
- Surface au plan d'eau normal :  $S = 55,2 \text{ ha } (551\,962 \text{ m}^2)$

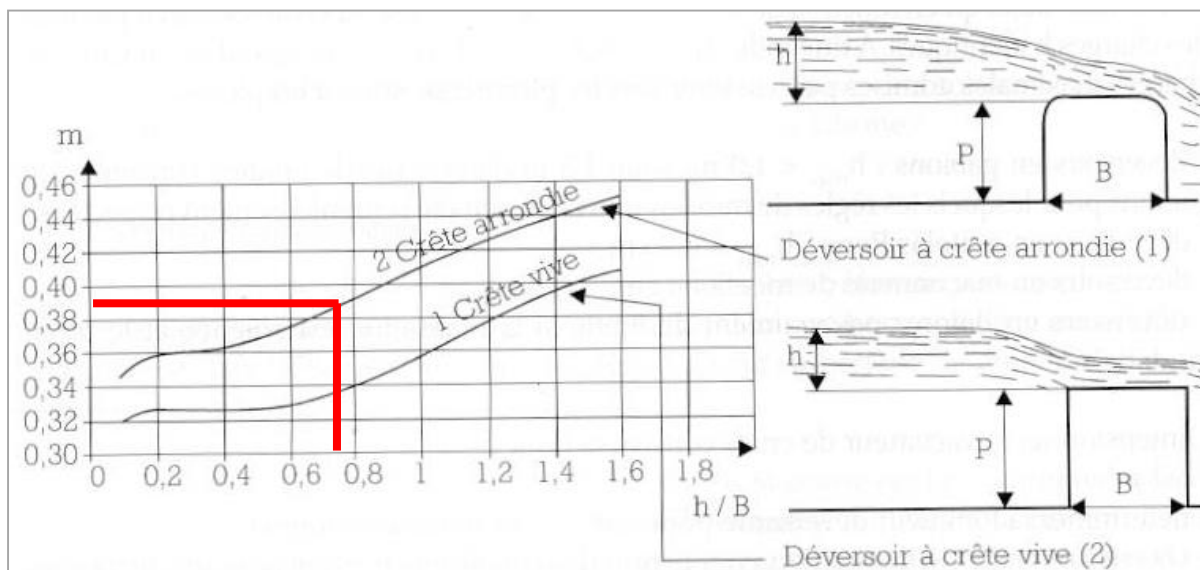


Illustration 17 : Abaque de détermination du coefficient de débit

- Détermination de la longueur du déversoir sans l'effet du laminage ( $L_1$ )

$$L_1 = \frac{Q_{\text{cmax}}}{m\sqrt{2gh}^{1,5}} = \frac{56}{0.39 * \sqrt{2 * 10} * (0.75^{1,5})} = 49,4 \text{ m}$$

- Calcul de  $X_{01}$ ,  $\log_{10} X_{01}$ ,  $\beta_1$  et  $Q_{e1}$

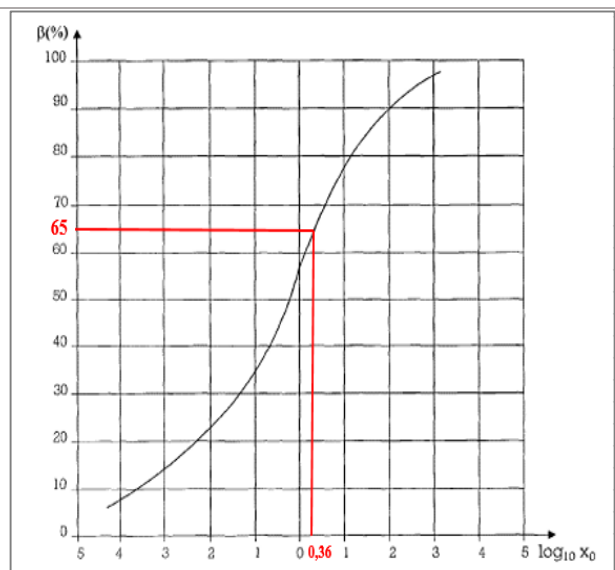
$$X_{01} = \frac{m^2 g L_1^2 Q_{cmax} T_m^3}{S^3}$$

$$X_{01} = \frac{0.39^2 * 10 * (44,14)^2 * 56 * (12319)^3}{(551962)^3} = 2,31$$

- $\log_{10}(X_{01}) = \log_{10}(2,31) = 0,36$
- $\beta_1 = 65\%$  (Lecture dans l'abaque) →
- $Q_{e1} = \beta_1 * Q_{cmax} = 0,65 * 56 = 36,4 \text{ m}^3/\text{s}$

On procède à nouveau au calcul de  $L_2$  avec :

$$L_2 = \frac{\beta_1 * Q_{cmax}}{m \sqrt{2gh}^{1,5}} = \frac{0.65 * 56}{0.39 * \sqrt{2 * 10 * (0.75^{1,5})}} = 32,1 \text{ m}$$



En principe, le processus se poursuit de manière itérative jusqu'à obtenir une longueur convergente dans la limite de la validité de la méthode. Dans notre cas, la limite est atteinte lorsque  $\beta = 65\%$ . Autrement dit, un laminage en dessous de 65% du débit maximal n'est pas admise en considérant un bassin en zone tropicale dont la superficie est de  $10,7 \text{ km}^2$  comme nous montre l'Illustration 18. Etant donné que nous sommes à la limite de la condition, nous optons pour un laminage de 65%, ce qui nous donne une longueur du déversoir égale à 32,1 m. Dans la pratique, nous retenons une longueur du déversoir **L = 35 m**.

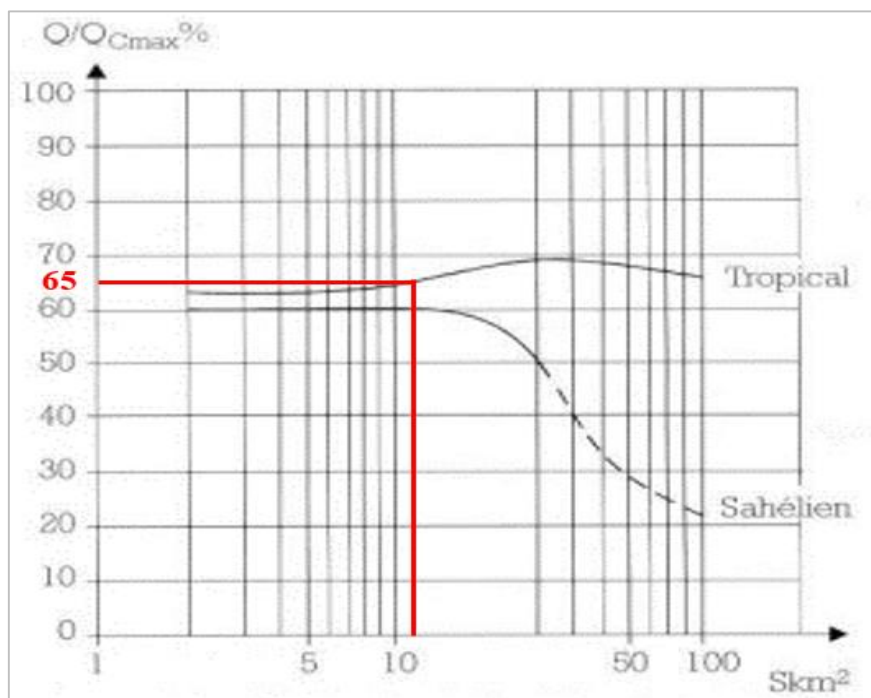
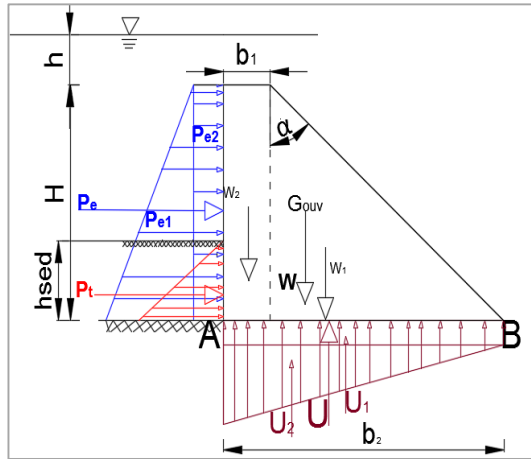


Illustration 18 : Abaque de validité de l'hydrogramme schématisé

## ■ Etude de la stabilité du déversoir

L'étude de la stabilité va de pair avec le dimensionnement géométrique du déversoir. Les différents paramètres sont modélisés comme suit :



- $H$  : hauteur de la retenue
- $h$  : hauteur d'eau au dessus du seuil
- $b_1$  : Largeur en crête du déversoir
- $b_2$  : largeur en base du déversoir
- $h_{sed}$  : hauteur des sédiments agissant sur l'ouvrage
- $P_e (P_{e1} + P_{e2})$  : Poussée hydrostatique externe
- $U (U_1 + U_2)$  : Sous pression
- $W (W_1 + W_2)$  : Poids propre du déversoir
- $G_{ouv}$  : Centre de gravité du déversoir
- $\alpha$  : Angle du talus aval
- A et B : Points repères pour les calculs

Pour les besoins de calcul, les hypothèses et données suivantes sont considérées :

- Fondation : roche homogène, isotrope sans fissuration (pas de palplanche ni de drain)
- Hauteur de la retenue agissant sur le déversoir :  $H = 5 \text{ m}$
- Hauteur des sédiments agissant sur le déversoir :  $h_{sed} = 1,30 \text{ m}$
- Coefficient de poussée active des sédiments :  $K_a = 0,33$  (Sableux avec  $\varphi = 30^\circ$ )
- Poids volumique de l'eau :  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$
- Poids volumique du béton :  $\gamma_b = 24 \text{ kN/m}^3$
- Poids volumique saturée des sédiments :  $\gamma_{sed} = 18 \text{ kN/m}^3$
- Poids volumique saturée du remblai argileux :  $\gamma_r = 16,8 \text{ kN/m}^3$
- $\tan\varphi = 0,65$  (contact béton – roche tendre)
- Cohésion du matériau de fondation sous le déversoir :  $C = 49,8 \text{ kPa}$
- Angle de frottement du matériau de fondation sous le déversoir :  $\varphi = 8^\circ$

Les différents calculs ont permis d'estimer la largeur en crête et l'angle du talus remplissant les conditions de stabilité du déversoir, les quels résultats sont présentés ci-dessous avec :

- Largeur en crête :  $b_1 = 1 \text{ m}$
- Angle du talus optimale :  $\alpha = 60^\circ$

La note de calcul est résumée dans le tableau ci-dessous

| Désignation                                                                      | Symbole/Unité             | Formule                                              | Application numérique                                  | Résultat |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------|
| <b>Stabilité externe : Non glissement</b>                                        |                           |                                                      |                                                        |          |
| Poussée hydrostatique externe (retenue normale)                                  | $P_{e1}$ : kN/ml          | $= \frac{1}{2} \gamma_w * H^2$                       | $= \frac{1}{2} * 10 * 5^2$                             | 125      |
| Poussée hydrostatique externe (surcharge)                                        | $P_{e2}$ : kN/ml          | $= \gamma_w * H * h$                                 | $= 10 * 5 * 0,75$                                      | 37,50    |
| Poussée hydrostatique externe résultante                                         | $P_e$ : kN/ml             | $= P_{e1} + P_{e2}$                                  | $= 125 + 37,5$                                         | 162,50   |
| Poids des terres/sédiments                                                       | $P_t$ : kN/ml             | $= \frac{1}{2} * \gamma_{sed} * h_{sed}^2 * K_a$     | $= \frac{1}{2} * 10 * 1,3^2 * 0,33$                    | 5,02     |
| Pression hydrostatique interne (retenue normale)                                 | $U_1$ : kN/ml             | $= \gamma_w * (H + h)$                               | $= 10 * (5 + 0,75)$                                    | 57,50    |
| Pression hydrostatique interne (surcharge)                                       | $U_2$ : kN/ml             | $= \gamma_w * h$                                     | $= 10 * 0,75$                                          | 7,50     |
| Pression hydrostatique interne résultante                                        | $U$ : kN/ml               | $= \frac{(U_1 + U_2)}{2} * b_2$                      | $= \frac{(57,5 + 7,5)}{2} * 9,7$                       | 313,96   |
| Poids propre du déversoir                                                        | $W$ : kN/ml               | $= \frac{1}{2} * \gamma_b * H * (2 + H \tan \alpha)$ | $= \frac{1}{2} * 24 * 5 * (2 + 5 \tan 60)$             | 639,62   |
| Facteur de sécurité au glissement                                                | $F_g$                     | $= \frac{(W - U) \times \tan \varphi}{P_e + P_t}$    | $= \frac{(639,62 - 313,96) \times 0,65}{162,5 + 5,02}$ | 1,30     |
| <b><math>F_g &gt; 1,2</math> : La stabilité vis-à-vis du glissement vérifiée</b> |                           |                                                      |                                                        |          |
| <b>Stabilité externe : Non renversement</b>                                      |                           |                                                      |                                                        |          |
| Moment dû à la poussée hydrostatique externe / B                                 | $M_B (P_e)$ : kN.m/ml     | $= 5 * H^2 (h + \frac{1}{3})$                        | $= 5 * 5^2 (0,75 + \frac{1}{3})$                       | 135,42   |
| Moment dû à la poussée des sédiments / B                                         | $M_B (P_{sed})$ : kN.m/ml | $= P_t * \frac{1}{3} * h_{sed}$                      | $= 1,67 * \frac{1}{3} * 1,3$                           | 2,18     |
| Moment dû à la sous pression / B                                                 | $M_B (U)$ : kN.m/ml       | $= 0,5(1 + H \tan \alpha)(U_1 + 3U_2)$               | $= 0,5(1 + 5 \tan 60)(57,5 + 3 * 7,5)$                 | 386,41   |
| Moment dû au poids du déversoir / B                                              | $M_B (W)$ : kN.m/ml       | $= W (b_2 - X_g)$                                    | $= 639,62 (9,7 - 3,25)$                                | 4 099,23 |

| Désignation                                                                                               | Symbole/Unité                              | Formule                                                                                                     | Application numérique                                                                      | Résultat |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Facteur de sécurité au renversement                                                                       | Fr                                         | $= \frac{\sum M/B (W - U)}{\sum M/B (P_e + P_t)}$                                                           | $= \frac{(4\,099,23-386,41)}{(135,42+2,18)}$                                               | 26,9     |
| <b>Fr &gt; 1,5 : La stabilité vis-à-vis du renversement vérifiée</b>                                      |                                            |                                                                                                             |                                                                                            |          |
| <b>Stabilité interne : Non fissuration</b>                                                                |                                            |                                                                                                             |                                                                                            |          |
| Largeur de base du déversoir                                                                              | b <sub>2</sub> : m                         | = b1 + H tan α                                                                                              | = 1 + 5 * tan 60                                                                           | 9,7      |
| Rapport de la largeur de base du déversoir                                                                | b <sub>2</sub> /6 : m                      | = b2/6                                                                                                      | = 9,7/6                                                                                    | 1,61     |
| Abscisse du centre de gravité du déversoir                                                                | X <sub>Gouv</sub> : m                      | $= \left[ \frac{0,5 + \frac{H^2 \tan^2 \alpha}{6} + 0,5H \times \tan \alpha}{1 + 0,5H \tan \alpha} \right]$ | $= \frac{0,5 + \frac{5^2 \tan^2 60}{6} + 0,5 * 5 \times \tan 60}{1 + 0,5 * 5 \tan 60}$     | 3,25     |
| Ordonnée du centre de gravité du déversoir                                                                | Y <sub>Gouv</sub> : m                      | $= \left[ \frac{H + \frac{1}{3} \times H^2 \tan \alpha}{2 + H \tan \alpha} \right]$                         | $= \left[ \frac{5 + \frac{1}{3} \times 5^2 \tan 60}{2 + 5 * \tan 60} \right]$              | 1,82     |
| Excentricité                                                                                              | e : m                                      | $= XG_{ouv} + \left( YG_{ouv} \times \frac{P_e + P_t}{W - U} \right) - \frac{b_2}{2}$                       | $= 3,25 + \left( 1,82 \times \frac{167,52}{325,66} \right) - \frac{9,7}{2}$                | -0,64    |
| Règle du tiers central                                                                                    | -b <sub>2</sub> /6 ≤ e ≤ b <sub>2</sub> /6 |                                                                                                             | -1,61 ≤ -0,64 ≤ 1,61                                                                       |          |
| <b>-b<sub>2</sub>/6 ≤ e ≤ b<sub>2</sub>/6 : La stabilité vis-à-vis de la non fissuration est vérifiée</b> |                                            |                                                                                                             |                                                                                            |          |
| <b>Stabilité interne : Non rupture</b>                                                                    |                                            |                                                                                                             |                                                                                            |          |
| Résistance caractéristique du béton                                                                       | Fc28 : Mpa                                 | -                                                                                                           | -                                                                                          | 20       |
| Contrainte limite du béton                                                                                | B <sub>lim</sub> = Mpa                     | = 0,3 * F <sub>c28</sub>                                                                                    | = 0,3 * 20                                                                                 | 6        |
| Contrainte maximale du béton                                                                              | σ <sub>max</sub> : Mpa                     | $\sigma_{max} = 10^{-3} \left( \frac{W-U}{b_2} \right) \times \left[ 1 + \frac{6e}{b_2} \right]$            | $= 10^{-3} \left( \frac{325,66}{9,7} \right) \times \left[ 1 + \frac{6*0,66}{9,7} \right]$ | 0,05     |
| Condition de non rupture                                                                                  | B <sub>max</sub> ≤ B <sub>lim</sub>        |                                                                                                             | 0,05 ≤ 6                                                                                   |          |
| <b>B<sub>max</sub> ≤ B<sub>lim</sub> : La stabilité vis-à-vis de la non rupture est vérifiée</b>          |                                            |                                                                                                             |                                                                                            |          |
| <b>Stabilité face au poinçonnement</b>                                                                    |                                            |                                                                                                             |                                                                                            |          |
| Profondeur d’encrage du déversoir                                                                         | D : m                                      | = b <sub>1</sub> +Profondeur bassin                                                                         | = 1+1                                                                                      | 2        |

| Désignation                                                                                                                                                                                                                                                                              | Symbole/Unité                | Formule                                                                                                    | Application numérique                                                          | Résultat |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Facteur de portance : terme de surface                                                                                                                                                                                                                                                   | $N_\gamma$                   | Valeur obtenues dans un abaque à partir de l'angle de frottement du matériau qui est : $\varphi = 8^\circ$ |                                                                                | 0,27     |
| Facteur de portance : terme de cohésion                                                                                                                                                                                                                                                  | $N_c$                        |                                                                                                            |                                                                                | 7,5      |
| Facteur de portance : terme de profondeur                                                                                                                                                                                                                                                | $N_q$                        |                                                                                                            |                                                                                | 2,1      |
| Contrainte admissible du sol de fondation                                                                                                                                                                                                                                                | $q_{adm} : \text{kN/m}^2$    | $= \left(\frac{1}{2}\right) * b_2 * \gamma * N_\gamma + C * N_c + D * \gamma * N_q$                        | $= \left(\frac{1}{2}\right) * 9,7 * 16,8 * 0,27 + 49,8 * 7,5 + 2 * 16,8 * 2,1$ | 466      |
| Contrainte de référence transmise à la fondation par le déversoir                                                                                                                                                                                                                        | $q_{réf} : \text{kN/m}^2$    | $= \frac{W}{b_2} \left(1 + \frac{6 * e}{b_2}\right)$                                                       | $= \frac{639,62}{9,7} \left(1 + \frac{6 * 0,66}{9,7}\right)$                   | 93,3     |
| Vérification de la condition de non poinçonnement                                                                                                                                                                                                                                        | $q_{adm} \geq 1,5 * q_{réf}$ |                                                                                                            | $466 \geq 1,5 * 93,3 = 139,95$                                                 |          |
| $q_{adm} \geq 1,5 * q_{réf}$ : La stabilité vis-à-vis du poinçonnement est vérifiée                                                                                                                                                                                                      |                              |                                                                                                            |                                                                                |          |
| CONCLUSION GENERALE : L'ensemble des stabilités du déversoir sont vérifiées. On retient donc les valeurs suivantes :                                                                                                                                                                     |                              |                                                                                                            |                                                                                |          |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Hauteur du déversoir : <math>H = 5 \text{ m}</math></li><li>• Largeur en crête : <math>b_1 = 1 \text{ m}</math></li><li>• Largeur en base : <math>b_2 = 9,7 \text{ m}</math></li><li>• Angle du talus : <math>\alpha = 60^\circ</math></li></ul> |                              |                                                                                                            |                                                                                |          |

## Annexe 8 : Etude du bassin de dissipation

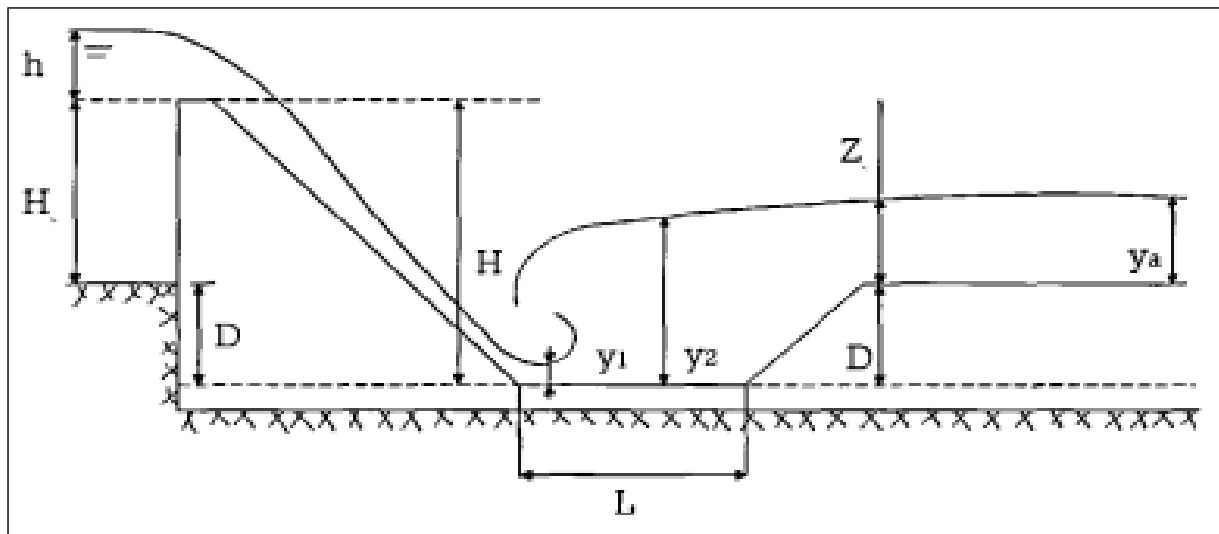


Illustration 19 : Modèle du bassin de dissipation de type ressaut

Dimensionner le bassin de dissipation, c'est lui donner une longueur supérieure à la longueur (L) du ressaut et une profondeur (D) de manière à ce que la profondeur soit supérieure à la différence entre le tirant d'eau à la sortie et le tirant d'eau normal ( $D \geq Y_2 - Y_a$ ).

### ▪ Calcul du tirant normal ( $Y_a$ )

Le chenal d'écoulement est un canal rectangulaire non revêtu et protégé par du gabion et des enrochements. Le tirant d'eau normal a été déterminé par la méthode de la débitance à partir de la formule de Manning-Strickler. Les caractéristiques du canal utilisés sont :

- Coefficient de rugosité du canal :  $K_s = 35$
- Pente du canal :  $I = 0,5\%$
- Largeur en gueule du canal :  $L = 35 \text{ m}$

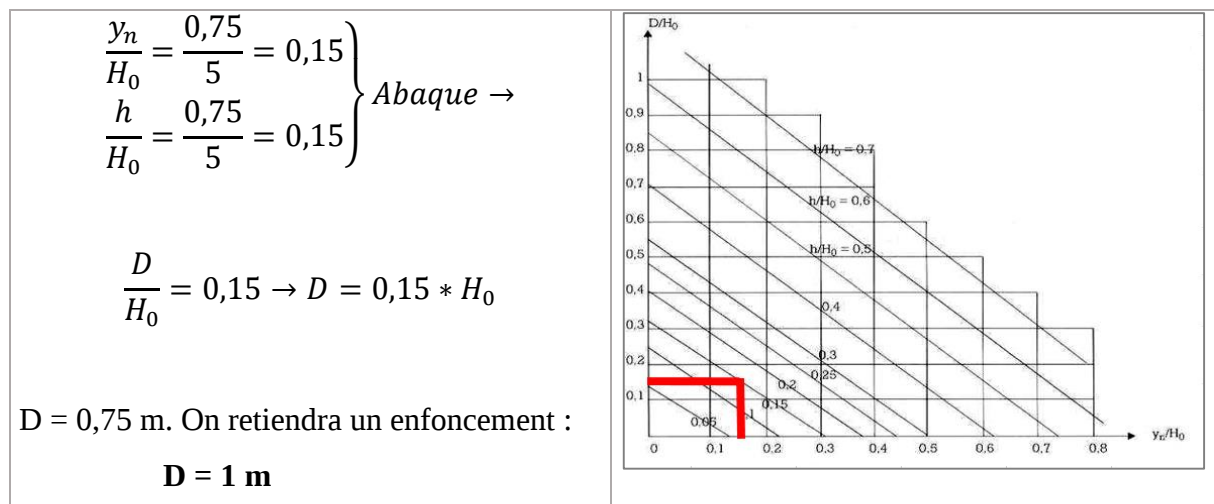
| Paramètre                             | Formule                                   |
|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| Tirant d'eau normal ( $Y_a$ )         | $Y_a$ : Fixé par itération                |
| Surface mouillée (S)                  | $S = Y_a * L$                             |
| Périmètre mouillé (P)                 | $P = L + 2 * Y_a$                         |
| Rayon hydraulique (Rh)                | $R_h^{2/3} = \frac{(S)^{5/3}}{(P)^{2/3}}$ |
| Débitance (D)                         | $D = K_s * S * R_h^{2/3}$                 |
| Constance de l'égalité secondaire (C) | $C = Q/\sqrt{I}$                          |

Par itération, on obtient une valeur approchée du tirant d'eau normal ci-après :

| Ya (m)                                          | S (m²) | P (m) | Rh^2/3      | D          | C        |
|-------------------------------------------------|--------|-------|-------------|------------|----------|
| 0,4                                             | 14     | 35,8  | 7,486716277 | 3668,49098 | 1 627,85 |
| 0,45                                            | 15,75  | 35,9  | 9,093644338 | 5012,87144 |          |
| 0,5                                             | 17,5   | 36    | 10,81919829 | 6626,75896 |          |
| 0,55                                            | 19,25  | 36,1  | 12,6584274  | 8528,61546 |          |
| 0,6                                             | 21     | 36,2  | 14,6069579  | 10736,1141 |          |
| 0,65                                            | 22,75  | 36,3  | 16,66087931 | 13266,2251 |          |
| 0,7                                             | 24,5   | 36,4  | 18,8166606  | 16135,2865 |          |
| 0,75                                            | 26,25  | 36,5  | 21,07108682 | 19359,061  |          |
| 0,8                                             | 28     | 36,6  | 23,42121003 | 22952,7858 |          |
| 0,85                                            | 29,75  | 36,7  | 25,86431062 | 26931,2134 |          |
| Le tirant d'eau normal retenu est : Ya = 0,75 m |        |       |             |            |          |

#### ▪ Calcul de l'enfoncement du bassin de dissipation (D)

Le calcul se fait à partir de lecture sur l'abaque avec les données d'entrées suivantes :



#### ▪ Choix du type de bassin en fonction du nombre de Froude (F)

Le nombre de Froude s'obtient à partir de la vitesse et du tirant d'eau de l'eau à l'entrée du ressaut. Les deux paramètres étant liés l'un à l'autre, l'on procède par itération jusqu'à obtenir un débit maximal évacué proche du débit laminé. Le calcul se fait comme suit :

| Paramètre                               | Formule | Résultat  |
|-----------------------------------------|---------|-----------|
| Débit laminé au niveau du déversoir (Q) | -       | 36,4 m³/s |
| Longueur du déversoir (L)               | -       | 35 m      |
| Lame d'eau au-dessus du déversoir (h)   | -       | 0,75 m    |
| Profondeur d'enfoncement du bassin (D)  | -       | 1 m       |
| Pelle maximale du déversoir (Ho)        | -       | 5 m       |

| Paramètre                                             | Formule                           | Résultat                 |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Débit unitaire au-dessus du seuil (q)                 | $q = \frac{Q}{L}$                 | 1,04 m <sup>3</sup> /s.m |
| Vitesse de l'eau au-dessus du seuil (V <sub>0</sub> ) | $V_0 = \frac{q}{h}$               | 1,39 m/s                 |
| Hauteur de la ligne d'eau (H <sub>e</sub> )           | $H_e = h + \frac{V_0^2}{2 * g}$   | 0,85 m                   |
| Hauteur de chute (H)                                  | $H = D + H_0 + H_e$               | 6,85 m                   |
| Vitesse d'eau à l'entrée du bassin (V)                | $V = \sqrt{2 * g(0.9 * H - Y_1)}$ | 11,01 m/s                |
| Tirant d'eau à l'entrée du bassin (Y <sub>1</sub> )   | $Y_1 = Q / (L * V)$               | 0,10 m                   |
| Débit maximum évacué Q (m <sup>3</sup> /s)            | $Q = Y_1 * L * V$                 | 38,54 m <sup>3</sup> /s  |
| <b>Nombre de Froude (F)</b>                           | $F = V / (\sqrt{g * Y_1})$        | <b>11,01</b>             |

Après itération, on obtient un débit maximum évacué (Q = 38,54 m<sup>3</sup>/s) proche du débit laminé (Q = 36,4 m<sup>3</sup>/s). On déduit que le nombre de Froude (F = 11,01) est supérieur à 4,5 ce qui signifie que le ressaut se produit nettement. De plus la vitesse de l'eau à l'entrée du bassin est inférieure à 15 m/s (V = 11,01 m/s), on peut donc utiliser le bassin de type II [13].

#### ▪ Calcul de la longueur du bassin (L)

Après avoir déterminé le type de bassin en fonction du nombre de Froude, la longueur du bassin s'obtient en connaissant le tirant d'eau à la sortie du ressaut. On a les résultats suivants :

| Paramètre                                                               | Formule                                          | Résultat |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|
| Tirant d'eau à la sortie du bassin (Y <sub>2</sub> )                    | $Y_2 = \frac{Y_1 * (\sqrt{8 * F^2 + 1} - 1)}{2}$ | 1,06 m   |
| Rapport de L/ Y <sub>2</sub>                                            | Lecture dans l'abaque                            | 2,70     |
| Longueur du bassin L                                                    | $L = (L / Y_2) * Y_2$                            | 2,86 m   |
| <b>Nous retiendrons une longueur du bassin de dissipation : L = 3 m</b> |                                                  |          |

Ainsi, on obtient un bassin de dissipation de type ressaut avec une longueur de 3 m et enfoncé de 1 m.

#### ▪ Dimensionnement des blocs de chute

| Paramètre                               | Formule                 | Résultat |
|-----------------------------------------|-------------------------|----------|
| <b>Dimensions calculées et retenues</b> |                         |          |
| Hauteur (h <sub>1</sub> )               | $h_1 = l_1 = e_1 = Y_1$ | 0,10 m   |
| Largeur (l <sub>1</sub> )               |                         | 0,10 m   |
| Espacement (e <sub>1</sub> )            |                         | 0,10 m   |

#### ■ Dimensionnement des blocs chicanes

| Paramètre                                | Formule                 | Résultat |
|------------------------------------------|-------------------------|----------|
| Rapport $h_2/Y_1$                        | Lecture dans l'abaque   | 2,50     |
| Pente des blocs chicanes                 | -                       | 1V/2H    |
| <b>Dimensions calculées</b>              |                         |          |
| Hauteur ( $h_2$ )                        | $h_2 = (h_2/Y_1) * Y_1$ | 0,25 m   |
| Largeur ( $l_2$ )                        | $l_2 = 0,75 * h_2$      | 0,19 m   |
| Espacement ( $e_2$ )                     | $e_2 = 0,75 * h_2$      | 0,19 m   |
| Epaisseur en crête ( $e_c$ )             | $e_c = 0,20 * h_2$      | 0,05 m   |
| <b>Dimensions constructives retenues</b> |                         |          |
| Hauteur ( $h_2$ )                        | -                       | 0,25 m   |
| Largeur ( $l_2$ )                        | -                       | 0,20 m   |
| Espacement ( $e_2$ )                     | -                       | 0,20 m   |
| Epaisseur en crête ( $e_c$ )             | -                       | 0,05 m   |

#### ■ Calcul du seuil terminal

| Paramètre                                                                        | Formule                 | Résultat |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------|
| Rapport de $(h_4/Y_1)$                                                           | Lecture dans l'abaque   | 1,50     |
| Pente du seuil                                                                   | -                       | 1V/2H    |
| Hauteur du seuil ( $h_4$ )                                                       | $h_4 = (h_4/Y_1) * Y_1$ | 0,15 m   |
| <b>Nous retiendrons la hauteur du seuil terminal : <math>h_4 = 0,20</math> m</b> |                         |          |

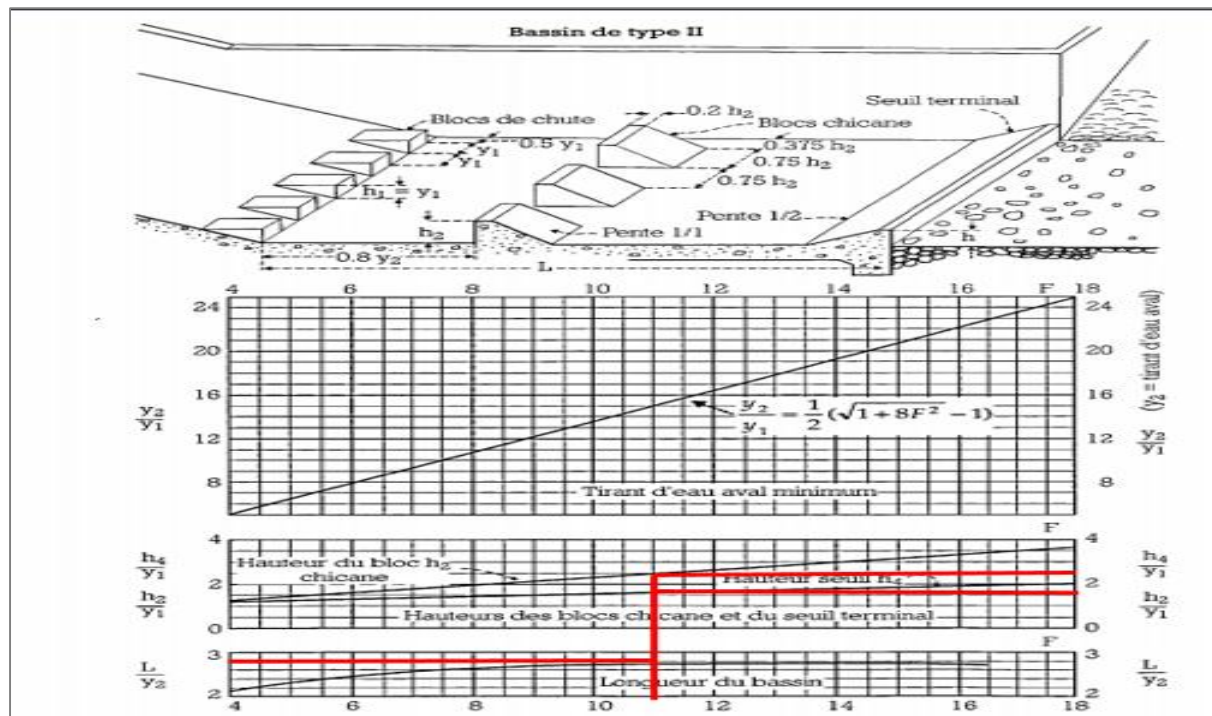


Illustration 20 : Abaque pour la détermination des caractéristiques du bassin de dissipation (nombre de Froude supérieur à 4,5 et vitesse de l'eau à l'entrée inférieur à 15 m/s)

## Annexe 9 : Etude des murs bajoyers

Les dimensions finales sont obtenues après le pré-dimensionnement et la vérification des conditions de stabilité. Le processus a été en partie réalisé à l'aide du logiciel CYPE 2014 dont les principaux résultats sont présentés comme suit :

### ▪ Pré-dimensionnement du mur bajoyers

| Désignation                              | Expression          | Résultats (m) |         |
|------------------------------------------|---------------------|---------------|---------|
|                                          |                     | Calculés      | Retenus |
| Hauteur de la digue (Hd)                 | -                   | 7,5           | 7,5     |
| Profondeur d'encrage du mur (D)          | -                   | 1,00          | 1,00    |
| Hauteur du mur au-dessus du remblai (h)  | -                   | 0,50          | 0,50    |
| Hauteur totale du mur bajoyer (H)        | $Hd+D+h$            | 9,00          | 9,00    |
| Epaisseurs en crête du mur ( $e_0$ )     | $H/24$              | 0,38          | 0,40    |
| Epaisseur à la base du voile ( $e_1$ )   | $H/12$              | 0,75          | 0,75    |
| Epaisseur de la semelle ( $e_2$ )        | $H/12$              | 0,75          | 0,75    |
| Largeur à la base de la semelle (b)      | $1,15*(0,20+0,45H)$ | 4,89          | 5,00    |
| Largeur du talon de la semelle ( $b_2$ ) | $b - e_1$           | 4,13          | 4,25    |

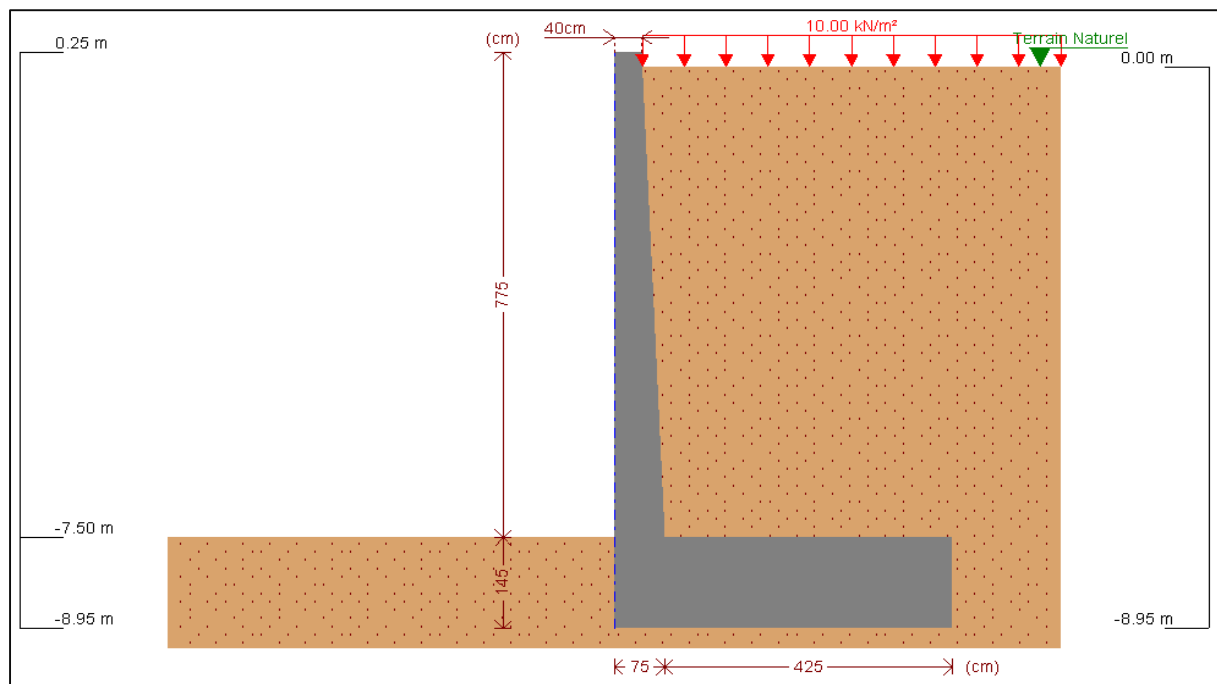
### ▪ Caractéristiques des matériaux, des charges et du sol

| Désignation                                    | Symbole/Unité                   | Valeur |
|------------------------------------------------|---------------------------------|--------|
| Résistance caractéristique du béton à 28 jours | $F_{c28}$ (Mpa)                 | 20     |
| Résistance à la traction de l'acier            | $F_{e400}$ (Mpa)                | 400    |
| Poids volumique du remblai argileux            | $\gamma_r$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 16,8   |
| Angle de frottement interne du remblai         | $\Phi$ (°)                      | 8      |
| Cohésion du remblai                            | C (kPa)                         | 49,8   |
| Contrainte admissible de la fondation          | $Q_{adm}$ (kPa)                 | 470    |
| Charge d'exploitation sur le remblai           | Q (kN/m <sup>2</sup> )          | 10     |

### ▪ Dimensions du mur bajoyer retenues après vérification

| Désignation                                       | Résultats (m)       |             |
|---------------------------------------------------|---------------------|-------------|
|                                                   | Pré dimensionnement | Retenues    |
| Hauteur de la digue (Hd)                          | 7,5                 | 7,5         |
| Profondeur d'encrage du mur (D)                   | 1,00                | 1,00        |
| Hauteur du mur au-dessus du remblai (h)           | 0,50                | 0,50        |
| <b>Hauteur totale du mur bajoyer (H)</b>          | <b>9,00</b>         | <b>9,20</b> |
| Epaisseurs en crête du mur ( $e_0$ )              | 0,40                | 0,40        |
| Epaisseur à la base du voile ( $e_1$ )            | 0,75                | 0,75        |
| <b>Epaisseur de la semelle (<math>e_2</math>)</b> | <b>0,75</b>         | <b>1,45</b> |
| Largeur à la base de la semelle (b)               | 5,00                | 5,00        |
| Largeur du talon de la semelle ( $b_2$ )          | 4,25                | 4,25        |

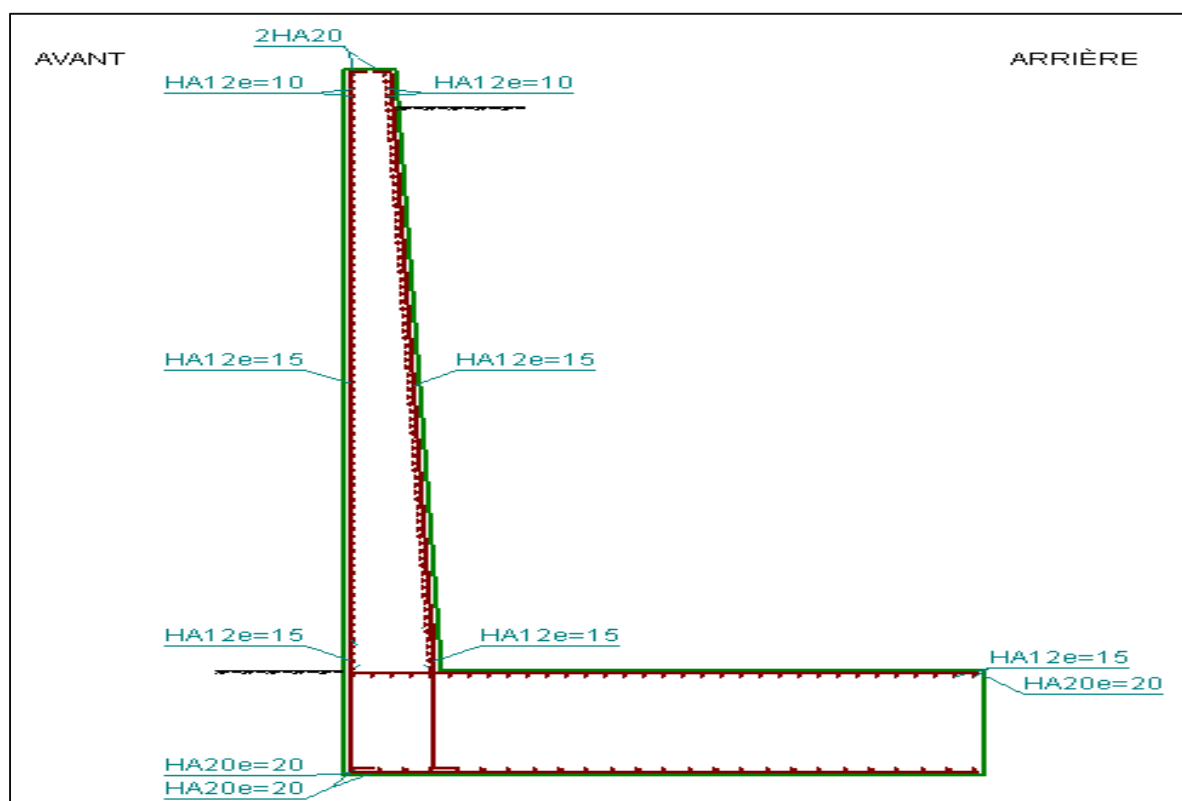
▪ **Représentation schématique du mur bajoyer après vérification des stabilités**



▪ **Description du ferrailage**

| COURONNEMENT        |                      |                           |                       |
|---------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|
| Armature supérieure |                      |                           | 2 HA20                |
| MUR                 |                      |                           |                       |
| Face Avant (Vue)    |                      | Face Arrière (Coté terre) |                       |
| Armature Verticale  | Armature Horizontale | Armature Verticale        | Armature Horizontale  |
| HA12 esp =15 cm     | HA12 esp = 10 cm     | HA12 esp = 15 cm          | HA12 esp = 10 cm      |
| FONDATION           |                      |                           |                       |
| Face des armatures  |                      | Armature longitudinale    | Armature Transversale |
| Nappe supérieure    |                      | HA12 esp = 15cm           | HA20 esp = 20 cm      |
| Nappe inférieure    |                      | HA20 esp = 20 cm          | HA20 esp = 20cm       |

▪ **Plan de ferrailage**



## Annexe 10 : Etude de l'ouvrage de prise et de vidange

### ▪ Calcul du débit d'équipement du périmètre

| Paramètre                                | Formule/Expression             | Unité      | Résultat     |
|------------------------------------------|--------------------------------|------------|--------------|
| Besoin net du mois de pointe (BN)        | Tableau besoins agricoles      | mm         | 205          |
| Nombre de jour du mois de pointe (Njr)   | Mois de Mars                   | jr         | 31           |
| Besoin maximum de pointe (BMP)           | $BMP = BN/Njr$                 | mm/j       | 6,61         |
| Tour d'eau (T)                           | Hypothèse                      | T (j)      | 3,00         |
| Dose réelle (Dr)                         | $Dr = BMP * T$                 | mm         | 19,84        |
| Efficience d'irrigation (Ea)             | Hypothèse                      | %          | 60           |
| Dose brute (Db)                          | $Db = Dr/Ea$                   | mm         | 33,06        |
| Nombre d'heure d'arrosage par jour (Nhr) | Hypothèse                      | hr         | 10,00        |
| Débit d'équipement (Qe)                  | $Qe = Db/(Nhr * T)$            | l/s/ha     | 3,06         |
| Superficie exploitable (S)               | Estimation                     | ha         | 20,00        |
| <b>Débit total du système (Q)</b>        | <b><math>Q = Qe * S</math></b> | <b>l/s</b> | <b>61,23</b> |

La prise doit être à mesure de fournir au minimum un débit de **61,23 l/s** ( $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pour la satisfaction des besoins agricoles du périmètre.

### ▪ Calcul du diamètre de la prise

En aval de la prise, il est prévu un bac en béton dans laquelle l'eau s'séjourne avant de passer à travers la conduite. Le dispositif béton-orifice de la prise est semblable au 2<sup>ème</sup> cas de figure présenté ci-dessous, d'où le choix du coefficient de contraction de débit.

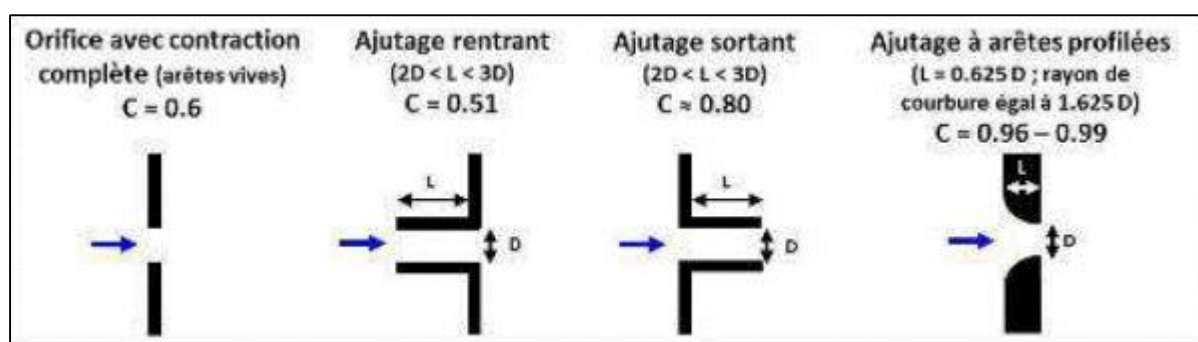


Illustration 21 : Choix du coefficient de contraction du débit

| Paramètre                               | Formule/Expression                 | Unité                 | Résultat |
|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|----------|
| Débit total du système (Q)              | Calculé ci-dessus                  | l/s                   | 61,23    |
| Coefficient de contraction de débit (C) | Ajutage rentrant (Illustration 21) | -                     | 0,51     |
| Accélération de la pesanteur (g)        | -                                  | $\text{m}^2/\text{s}$ | 10       |
| Côte de fin exploitation ( $C_{FE}$ )   | Courbe hauteur – volume            | m                     | 286,6    |

| Paramètre                                                                    | Formule/Expression                       | Unité | Résultat |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------|----------|
| Côte de la prise d'eau ( $C_p$ )                                             | Courbe hauteur – volume                  | m     | 286,0    |
| Variation minimale de charge (h)                                             | $C_{FE} - C_p$                           | m     | 0,6      |
| Diamètre de la conduite (D)                                                  | $D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi C \sqrt{2gh}}}$ | m     | 0,210    |
| <b>Diamètre nominal de la conduite : DN 250 (<math>\phi = 250</math> mm)</b> |                                          |       |          |

On constate que pour satisfaire la demande en eau du périmètre, une conduite de diamètre nominal 250 mm est nécessaire. Cependant, étant donné que la même conduite devra jouer le rôle de vidange en cas de besoin, il est nécessaire de tenir compte du temps de vidange en fonction du débit évacué dans le choix final.

#### ▪ Simulation de la vidange de la retenue

La hauteur d'eau représente la différence entre la côte au plan d'eau normal et la côte de la prise ( $289 - 286 = 3$  m). Le calcul du diamètre tient compte des pertes de charges linéaires et singulières le long de la conduite données par l'abaque de MOODY (Illustration 22).

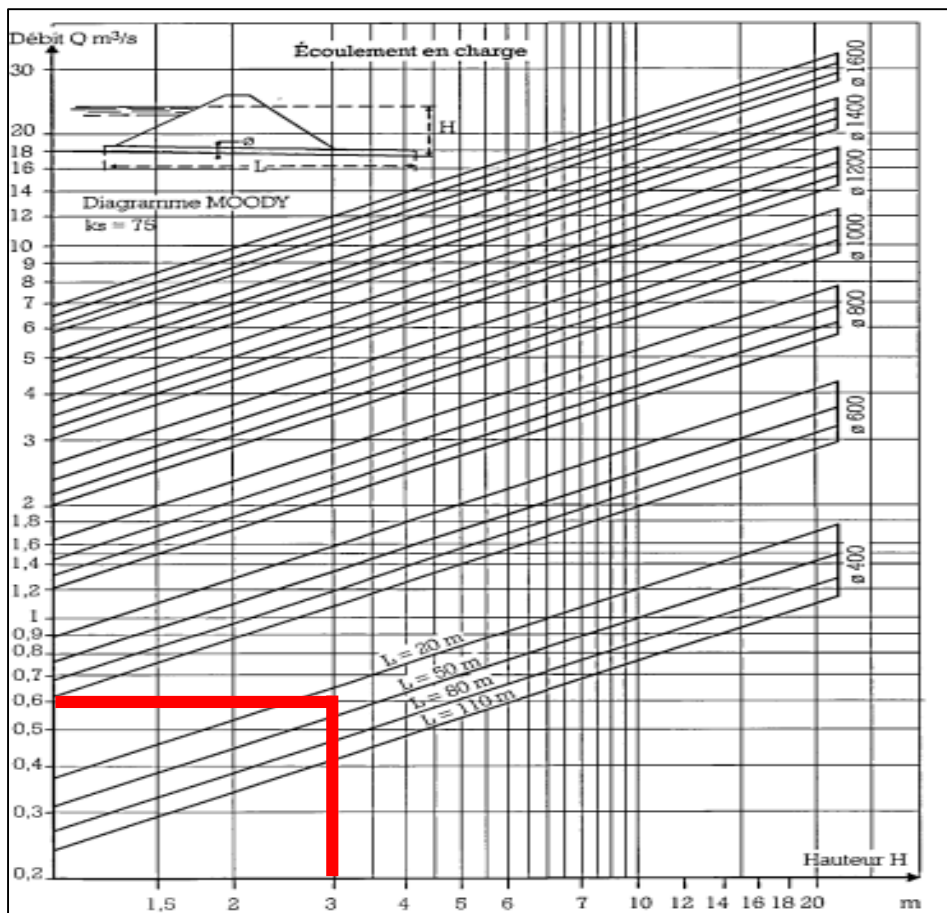


Illustration 22 : Diagramme de MOODY pour le choix d'une conduite de vidange

D'où la simulation de la vidange de la retenue

| Volume évacué<br>V (m³) | Nombre<br>jour (j) | Débit<br>Q (m³/s)             | Hauteur<br>(m) | Coefficient<br>m        | Diamètre<br>D (m)                               |
|-------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------------------------------|
| Volume<br>PEN           | Fixé               | $Q = \frac{V}{j * 24 * 3600}$ | h              | Principe<br>de<br>MOODY | $D = \frac{4 * Q}{\sqrt{m * \pi * \sqrt{2gh}}}$ |
| 726 928                 | 20                 | 0,421                         | 3              | 0,6                     | 0,781                                           |
|                         | 25                 | 0,337                         |                |                         | 0,624                                           |
|                         | 30                 | 0,280                         |                |                         | 0,520                                           |
|                         | 35                 | 0,240                         |                |                         | 0,446                                           |
|                         | 40                 | 0,210                         |                |                         | 0,390                                           |
|                         | 45                 | 0,187                         |                |                         | 0,347                                           |
|                         | 50                 | 0,168                         |                |                         | 0,312                                           |
|                         | 55                 | 0,153                         |                |                         | 0,284                                           |
|                         | 60                 | 0,140                         |                |                         | 0,260                                           |

Nous rappelons que selon la côte de calage de prise/vidange, la retenue ne se vide pas entièrement. Le volume évacué correspond donc à la différence de volume entre la côte du plan d'eau normal et celle de calage de la prise/vidange. A l'issu de la simulation, nous retenons une conduite de prise/vidange de diamètre nominal 300 mm (DN300) pour un temps de vidange estimé à 55 jours avec un débit maximal évacué de 0,15 m³/s.

#### ▪ Dimensionnement du bac de réception

Il doit être dimensionner pour supporter le maximum de débit qui n'est autre que le débit de vidange (Q=0,15 m³/s). En se servant du graphique (*Illustration 23*), on obtient la largeur du bac de réception :  $l = 1,2 \text{ m}$ . Par la suite, on a :

| Paramètre      | Expression                           | Valeur              |
|----------------|--------------------------------------|---------------------|
| Largeur (l)    | Lecture sur graphique                | $l = 1,2 \text{ m}$ |
| Longueur (L)   | $L = \left(\frac{4}{3}\right) * l$   | $l = 1,6 \text{ m}$ |
| Hauteur 1 (h1) | $h_1 = l/2$                          | $l = 0,6 \text{ m}$ |
| Hauteur 2 (h2) | $h_2 = \left(\frac{3}{4}\right) * l$ | $l = 0,9 \text{ m}$ |
| Couverture (C) | $C = l/2$                            | $l = 0,6 \text{ m}$ |

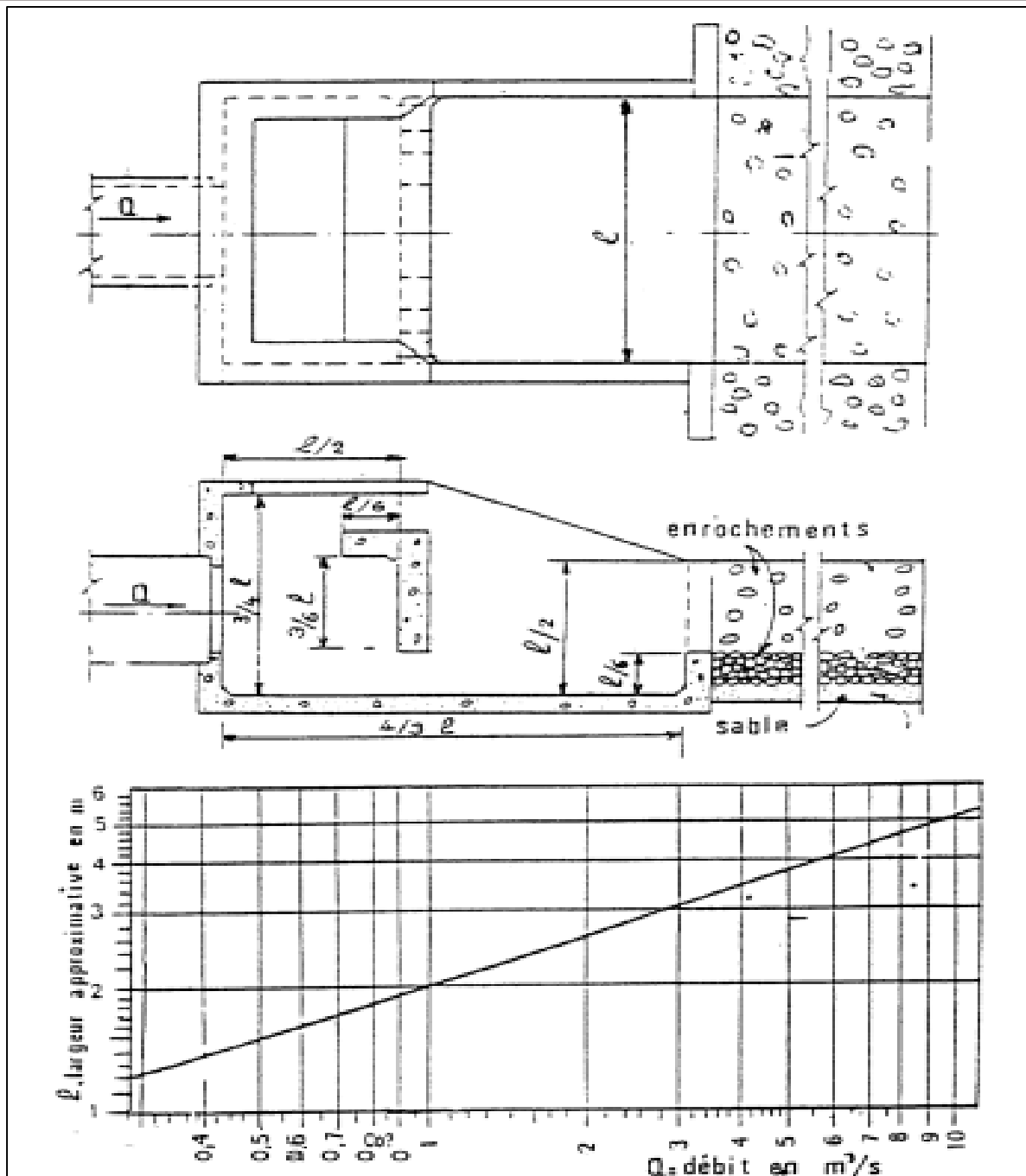


Illustration 23 :Abaque pour la détermination de la largeur du bac de réception

Source : COMPAORE, 1996

## Annexe 11 : Impact environnemental et social

### ▪ Critère d'évaluation des impacts

| Critère                                  | Catégorie   | Description                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Portée ou influence spatiale de l'impact | Ponctuelle  | Au niveau du site du projet                                                                                                                                  |
|                                          | Locale      | A moins de 10 km du site du projet                                                                                                                           |
|                                          | Régionale   | A plus de 10 km du site du projet                                                                                                                            |
| Intensité de l'impact                    | Faible      | Effets mineurs n'affectant pas les fonctions naturelles de l'écosystème ou impact légèrement positif ou négatif sur les conditions socio-économiques de base |
|                                          | Moyenne     | Altération négative modérée des fonctions naturelles de l'écosystème ou impact modérément positif ou négatif sur les conditions socio-économiques de base    |
|                                          | Forte       | Altération importante des fonctions naturelles de l'écosystème ou impact considérablement positif ou négatif sur les conditions socio-économiques de base    |
| Durée de l'impact                        | Court terme | Inférieur à 1 an                                                                                                                                             |
|                                          | Moyen terme | Entre 1 et 10 ans                                                                                                                                            |
|                                          | Long terme  | Supérieur à 10 ans                                                                                                                                           |

*Source : ADEOSSI, 2018*

### ▪ Critères d'appréciation de l'importance des impacts

| Critère d'importance | Description                                                                                                                                                        |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Majeur               | Dommages irréparable sur les systèmes écologiques. Dégradation des milieux récepteurs ou impact très positif sur l'environnement socio-économique                  |
| Modérée              | Dommages réparables sur les systèmes écologiques. Dégradation partielle des milieux récepteurs ou impact relativement positif sur l'environnement socio-économique |
| Mineur               | Dommages observés sans toutefois affecter les milieux récepteurs ou impact mineur sur l'environnement socio-économique.                                            |

*Source : ADEOSSI, 2018*

▪ Grilles d'analyse des impacts selon la « Matrice de FECTEAU »

| Importance | Critère   |            |             |
|------------|-----------|------------|-------------|
|            | Intensité | Portée     | Durée       |
| Majeure    | Forte     | Régionale  | Long terme  |
|            | Forte     | Régionale  | Moyen terme |
|            | Forte     | Locale     | Long terme  |
|            | Moyenne   | Régionale  | Long terme  |
| Modérée    | Forte     | Régionale  | Court terme |
|            | Forte     | Locale     | Moyen terme |
|            | Forte     | Locale     | Court terme |
|            | Forte     | Ponctuelle | Long terme  |
|            | Forte     | Ponctuelle | Long terme  |
|            | Moyenne   | Régionale  | Moyen terme |
|            | Moyenne   | Régionale  | Court terme |
|            | Moyenne   | Locale     | Long terme  |
|            | Moyenne   | Locale     | Moyen terme |
|            | Moyenne   | Ponctuelle | Long terme  |
|            | Faible    | Régionale  | Long terme  |
|            | Faible    | Régionale  | Moyen terme |
|            | Faible    | Locale     | Long terme  |
|            | Faible    | Ponctuelle | Court terme |
| Mineure    | Moyenne   | Locale     | Court terme |
|            | Moyenne   | Ponctuelle | Court terme |
|            | Moyenne   | Ponctuelle | Moyen terme |
|            | Faible    | Régionale  | Court terme |
|            | Faible    | Locale     | Moyen terme |
|            | Faible    | Locale     | Court terme |
|            | Faible    | Ponctuelle | Long terme  |
|            | Faible    | Ponctuelle | Moyen terme |
|            | Faible    | Ponctuelle | Court terme |
|            | Faible    | Ponctuelle | Court terme |

Source : ADEOSSI, 2018

▪ **Identification des activités sources d'impacts en phase de construction et d'exploitation du projet**

**Légende :** (+) : Impact positif ; (-) : Impact négatif et (+/-) : Impact à la fois positif et négatif.

| Phase du projet     | Principales activités sources d'impacts      | Composante du milieu récepteur |     |     |       |       |               |          |        |        |
|---------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-------|-------|---------------|----------|--------|--------|
|                     |                                              | Milieu biophysique             |     |     |       |       | Milieu humain |          |        |        |
|                     |                                              | Eau                            | Air | Sol | Faune | Flore | Santé         | Economie | Emploi | Social |
| <b>Construction</b> | Installation de chantier (base vie)          |                                |     | (-) | (-)   | (-)   |               | (+)      | (+)    |        |
|                     | Terrassement (débroussaillage, décapage)     | (-)                            | (-) | (-) | (-)   | (-)   |               | (+)      | (+)    |        |
|                     | Implantation des ouvrages                    | (-)                            |     | (-) |       |       |               | (+)      | (+)    |        |
|                     | Remblai et déblais                           | (-)                            | (-) | (-) | (-)   | (-)   | (-)           | (+)      | (+)    |        |
|                     | Extraction de matériaux d'emprunt            |                                | (-) | (-) | (-)   | (-)   |               | (+)      | (+)    |        |
|                     | Aménagements de pistes                       | (-)                            |     | (-) |       |       |               | (+)      | (+)    |        |
|                     | Utilisation et circulation d'engins lourds   |                                | (-) | (-) |       |       | (-)           |          |        |        |
|                     | Approvisionnement en eau pour les travaux    | (-)                            |     |     |       |       | (-)           | (+)      | (+)    |        |
|                     | Présence de la main d'œuvre                  | (-)                            |     | (-) |       |       | (-)           | (+)      |        |        |
|                     | Production de déchets solides et liquides    | (-)                            |     | (-) |       |       | (-)           |          |        |        |
|                     | Aires de dépôts de matériaux de construction |                                |     | (-) |       |       |               |          | (+)    |        |
| <b>Exploitation</b> | Présence d'eau                               | (+)                            | (+) |     | (+)   | (+)   | (-)           |          | (+)    | (+/-)  |
|                     | Recharge de la nappe                         | (+)                            |     |     |       |       |               |          |        |        |
|                     | Régénération de la végétation ripisylve      |                                |     | (+) | (+)   | (+)   |               |          |        | (+/-)  |
|                     | Aménagement du périmètre                     |                                |     |     |       |       |               |          | (+)    | (+/-)  |
|                     | Utilisation d'engrais                        |                                |     |     |       |       | (-)           |          |        |        |
|                     | Utilisation de pesticides                    | (-)                            |     | (-) |       |       | (-)           |          |        |        |
|                     | Production maraîchère                        |                                |     |     |       |       |               | (+)      | (+)    |        |
|                     | Commercialisation des produits maraîchers    |                                |     |     |       |       |               | (+)      | (+)    |        |
|                     | Conduites des activités de pêche             |                                |     |     |       |       |               | (+)      | (+)    |        |
|                     | Abreuvement des animaux                      |                                |     |     |       |       |               |          |        | (+/-)  |

▪ **Analyse des impacts en phase de construction et d'exploitation**

| Milieu récepteur      | Composante    | Impact identifié                                                          | Evaluation de l'importance de l'impact |            |           |         |            |
|-----------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------|-----------|---------|------------|
|                       |               |                                                                           | Catégorie                              | Portée     | Intensité | Durée   | Importance |
| PHASE DE CONSTRUCTION |               |                                                                           |                                        |            |           |         |            |
| Biophysique           | Eau           | Amenuisement et pollution de l'eau                                        | Négatif                                | Locale     | Faible    | Moyenne | Mineure    |
|                       | Air           | Pollution de l'atmosphère (poussière)                                     | Négatif                                | Locale     | Faible    | Courte  | Mineure    |
|                       | Sol           | Dégradation du sol                                                        | Négatif                                | Ponctuelle | Moyenne   | Longue  | Modérée    |
|                       | Faune         | Dégradation de la faune                                                   | Négatif                                | Ponctuelle | Faible    | Moyenne | Mineure    |
|                       | Flore         | Migration et/ou extermination d'espèces                                   | Négatif                                | Ponctuelle | Faible    | Moyenne | Mineure    |
|                       | Climat sonore | Nuisances sonores (bruits des engins)                                     | Négatif                                | Ponctuelle | Faible    | Courte  | Mineure    |
| Humain                | Santé         | Risque de maladies respiratoires et IST                                   | Négatif                                | Ponctuelle | Moyenne   | Moyenne | Modérée    |
|                       | Sécurité      | Risque d'accident lié aux engins de terrassement et véhicules de chantier | Négatif                                | Ponctuelle | Faible    | Moyenne | Mineure    |
|                       | Economie      | Opportunité de commerce                                                   | Positif                                | Ponctuelle | Moyenne   | Moyenne | Modérée    |
|                       | Emploi        | Création d'emploi directs et indirectes                                   | Positif                                | Locale     | Moyenne   | Moyenne | Modérée    |
| PHASE D'EXPLOITATION  |               |                                                                           |                                        |            |           |         |            |
| Biophysique           | Eau           | Disponibilité de l'eau en surface et recharge potentielle de la nappe     | Positif                                | Ponctuelle | Forte     | Longue  | Majeure    |
|                       | Sol           | Modification du sol par les labours                                       | Négatif                                | Ponctuelle | Faible    | Longue  | Mineure    |
|                       | Air           | Régulation naturelle de l'air ambiant                                     | Positif                                | Ponctuelle | Faible    | Longue  | Mineure    |
|                       | Faune         | Plantation d'arbres utilitaires et végétalisation de la ripisylve         | Positif                                | Ponctuelle | Moyenne   | Longue  | Modérée    |
|                       | Flore         | Recolonisation du site par les espèces aquatiques et autres espèces       | Positif                                | Ponctuelle | Moyenne   | Longue  | Modérée    |

| Milieu récepteur | Composante     | Impact identifié                                                          | Evaluation de l'importance de l'impact |            |           |        |            |
|------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------|-----------|--------|------------|
|                  |                |                                                                           | Catégorie                              | Portée     | Intensité | Durée  | Importance |
| Humain           | Santé          | Développement potentiel de maladies liées à l'eau                         | Négatif                                | Locale     | Moyenne   | Longue | Modérée    |
|                  | Economie       | Amélioration de l'économie locale par les activités agro-sylvo-pastorales | Positif                                | Locale     | Moyenne   | Longue | Modérée    |
|                  | Emploi         | Création d'emploi permanents                                              | Positif                                | Locale     | Forte     | Longue | Majeure    |
|                  | Commerce       | Intensification des activités commerciales                                | Positif                                | Locale     | Moyenne   | Longue | Modérée    |
|                  | Foncier        | Génération de conflits fonciers et détérioration du climat social         | Négatif                                | Ponctuelle | Forte     | Courte | Mineure    |
|                  | Exode rural    | Occupation des jeunes et diminution de l'exode rural saisonnier           | Positif                                | Locale     | Moyenne   | Longue | Modérée    |
|                  | Pastoralisme   | Développement des activités pastorales                                    | Positif                                | Régionale  | Moyenne   | Longue | Majeure    |
|                  | Pêche          | Développement des activités de pêches et annexes                          | Positif                                | Locale     | Moyenne   | Longue | Modérée    |
|                  | Cadre de vie   | Amélioration des conditions de vie des populations                        | Positif                                | Locale     | Forte     | Longue | Majeure    |
|                  | Us et coutumes | Création de cadre favorable au rites et coutumes                          | Positif                                | Ponctuelle | Moyenne   | Longue | Mineure    |

▪ **Plan de Gestion Environnemental et Social**

**Légende :** MDC : Mission de contrôle ; DPEA : Direction provinciale de l'eau et de l'assainissement ; DPEEVCC : Direction provinciale de l'environnement, de l'économie verte et du changement climatique ; DPRAH : Direction provinciale des ressources animales et halieutiques ; DPAAH : Direction provinciale de l'agriculture et des aménagements hydro-agricoles ; BUNEE : Bureau nationale des évaluations environnementales.

| Milieu récepteur             | Impact                                         | Action/Mesure                                                                                                                                                                  | Objectif                                                  | Acteurs de mise en œuvre     | Acteurs de surveillance                                                                                 | Période                         |
|------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>PHASE DE CONSTRUCTION</b> |                                                |                                                                                                                                                                                |                                                           |                              |                                                                                                         |                                 |
| Eau                          | Risque de pollution et de surexploitation      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation rationnelle de l'eau</li> <li>- Assainissement adéquat du site</li> </ul>                                                 | Réduire le gaspillage et la pollution de l'eau            | Entreprise                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- MDC</li> <li>- BUNEE</li> <li>- AEN</li> <li>- DPEA</li> </ul> | Pendant les travaux             |
| Air                          | Emission de poussière et de gaz d'échappement  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arrosage continu du chantier</li> <li>- Entretien et vidange périodique des engins</li> </ul>                                         | Réduire la pollution de l'air par les gaz et la poussière | Entreprise                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- MDC</li> <li>- BUNEE</li> <li>- DPEEVCC</li> </ul>             | Pendant les travaux             |
| Sol                          | Destruction du sol et pollution par les huiles | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remise en état du site</li> <li>- Bonne gestion des déchets liquides et solides</li> <li>- Entretien périodique des engins</li> </ul> | Réduire l'impact des travaux sur le sol                   | Entreprise                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- MDC</li> <li>- DPEEVCC</li> <li>- BUNEE</li> </ul>             | Pendant et à la fin des travaux |
| Faune                        | Destruction de la végétation                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reboisement du site et des zones d'emprunt</li> </ul>                                                                                 | Compenser le couvert végétal affecté                      | Comité de gestion du barrage | <ul style="list-style-type: none"> <li>- DPEEVCC</li> <li>- BUNEE</li> </ul>                            | A la fin des travaux            |

| Milieu récepteur            | Impact                                                                                  | Action/Mesure                                                                                                                                                                                                                                          | Objectif                                                                            | Acteurs de mise en œuvre               | Acteurs de surveillance    | Période                         |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Emploi                      | Création d'emploi temporaire                                                            | - Recrutement de la main d'œuvre locale                                                                                                                                                                                                                | Réduire temporairement le chômage                                                   | Entreprise                             | - BUNEE<br>- Mairie        | Pendant les travaux             |
| Santé/Sécurité              | Risque de maladie et d'accident                                                         | - Sensibilisation des travailleurs<br>- Dotation des ouvriers d'équipement de protection individuel<br>- Défense d'accès au site aux riverains<br>- Implantation de panneaux de signalisation<br>- Limitation de la vitesse à 30 km/h dans le chantier | Maintenir le personnel en bonne santé et réduire le risque d'accident et de maladie | Entreprise                             | - MDC<br>- BUNEE           | Pendant les travaux             |
| <b>PHASE D'EXPLOITATION</b> |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                     |                                        |                            |                                 |
| Population bénéficiaire     | Naissance de conflits entre usagers de l'eau                                            | - Organisation et formation des exploitants<br>- Edition des règles d'usage                                                                                                                                                                            | Réduire les conflits liés à l'usage de l'eau                                        | Comité de Gestion du Barrage           | - DPEA<br>- CLE<br>- AEN   | Avant exploitation de l'ouvrage |
| Santé                       | Développement de maladie liées à l'eau et pollution de l'eau par les produits chimiques | - Sensibilisation sur les dangers liés à la consommation de l'eau insalubre<br>- Utilisation de moustiquaire par les habitants                                                                                                                         | Réduire le taux des maladies et danger liés à l'eau                                 | - CSPS<br>- Mairie<br>- DPAAH<br>- CLE | - DPEA<br>- DPAAH<br>- AEN | Pendant l'exploitation          |

| Milieu récepteur       | Impact                                                                                                  | Action/Mesure                                                                                                                                                                                         | Objectif                                            | Acteurs de mise en œuvre                                                                                                                | Acteurs de surveillance                                                                                          | Période                          |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|                        |                                                                                                         | - Veuillez à une bonne utilisation des engrais et pesticides                                                                                                                                          |                                                     |                                                                                                                                         |                                                                                                                  |                                  |
| Foncier                | Réquisition de l'espace du périmètre pour cause d'utilité publique et inondation des champs et habitats | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prévision d'un plan de réinstallation pour les ménages affectés</li> <li>- Prévision de mesures de compensation pour les espaces agricoles perdus</li> </ul> | Réduire les conflits sociaux                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- MDC</li> <li>- Mairie</li> <li>- Préfecture</li> <li>- Comité de gestion du barrage</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- MDC</li> <li>- BUNEE</li> <li>- Mairie</li> <li>- Préfecture</li> </ul> | Avant le début des travaux       |
| Agriculteurs/ Eleveurs | Conflit agriculteurs-éleveurs                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aménagement de pistes à bétail</li> <li>- Sensibilisation des acteurs</li> </ul>                                                                             | Limiter les conflits entre agriculteurs et éleveurs | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comité de Gestion du Barrage, ONG</li> </ul>                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- DPEA</li> <li>- DPRAH</li> <li>- CLE</li> <li>- AEN</li> </ul>          | Avant et en phase d'exploitation |

▪ **Budget estimatif du PGES**

| Mesures/Actions                                                            | Unités  | Quantité | Cout unitaire | Montants   | Observation/Commentaire                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------|---------|----------|---------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sensibilisation des populations sur les IST et l'assainissement            | FF      | 1        | 1 000 000     | 1 000 000  | Tenue de séance avec les techniciens de la santé et de l'eau                                                          |
| Achat de moustiquaires imprégnés                                           | FF      | 1        | 2 500 000     | 2 500 000  | Destinés aux ménages situés dans l'emprise du barrage                                                                 |
| Réalisation de pistes à bétail                                             | Unité   | 4        | 500 000       | 2 000 000  | La délimitation pourra être faite par implantation de balises en béton le long des pistes identifiées                 |
| Délimitation et balisage de la bande de servitude de la cuvette du barrage | Unité   | 100      | 50 000        | 5 000 000  | Confectionner des balises en béton de 1 m de hauteur et renforcer par des plants                                      |
| Reboisement                                                                | ha      | 15       | 500 000       | 7 500 000  | Inclus la délimitation, la sensibilisation, l'acquisition ainsi que la mise en terre des plants, le suivi technique   |
| Entretien périodique des plants                                            | FF      | 1        | 5 000 000     | 5 000 000  | Suivi des plants, regarnissage, protection contre les feux de brousse par la réalisation des pare-feu en saison sèche |
| Plan de dédommagement et de réinstallation                                 | FF      | 1        | 30 000 000    | 30 000 000 | Trouver des sites d'accueil et des espaces agricoles pour les ménages affectés                                        |
| Réalisation d'actions CES /DRS                                             | ha      | 20       | 100 000       | 2 000 000  | Réalisation de cordon pierreux, de diguettes filtrantes pour les exploitants au bord de la cuvette                    |
| Communication, information et sensibilisation                              | Séances | 5        | 500 000       | 2 500 000  |                                                                                                                       |
| Création et dynamisation du comité de gestion du barrage                   | FF      | 1        | 2 500 000     | 2 500 000  | Mise en place et formation du comité                                                                                  |
| Appui à l'organisation des exploitants                                     | FF      | 1        | 1 000 000     | 1 000 000  | Création de groupements et associations pour une meilleure gestion du périmètre et des infrastructures                |

| <b>Mesures/Actions</b>                                                | <b>Unités</b> | <b>Quantité</b> | <b>Cout unitaire</b> | <b>Montants</b>              | <b>Observation/Commentaire</b>                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acquisition de matériels d'entretien aux profits du comité de barrage | FF            | 1               | 2 500 000            | 2 500 000                    | Achat de brouette, dame manuelle, pioche, bottes, machettes, pelle, gants de protection, etc. |
| Formation des exploitants sur les techniques agricoles                | FF            | 1               | 2 000 000            | 2 000 000                    | Tenue de séance avec les techniciens de l'agriculture                                         |
| Mission de surveillance environnementale par le BUNEE                 | Nombre        | 5               | 1 000 000            | 5 000 000                    |                                                                                               |
| <b>TOTAL GENERAL DU BUDGET ESTIMATIF DU PGES</b>                      |               |                 |                      | <b>70 500 000 Francs CFA</b> |                                                                                               |

**Annexe 12 : Métré et Devis estimatif**

▪ **Métré de la digue**

| N° | Côte TN (m) | Côte Digue (m) | Largeur Crête (m) | Distance Partielle (m) | Décapage (m) | H=Di-TN (m) | Largeur en base (m) | Section (m²) | Section moyenne (m²) | Volume partielle (m³) | Volume cumulé (m³) |
|----|-------------|----------------|-------------------|------------------------|--------------|-------------|---------------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| 1  | 291         | 290,75         | 4,5               | 0                      | 0,2          | -0,25       | 3,5                 | - 0,10       | -                    | -                     | -                  |
| 2  | 290,5       | 290,75         | 4,5               | 10                     | 0,2          | 0,25        | 5,5                 | 2,15         | 1,03                 | 10,25                 | 10,25              |
| 3  | 290         | 290,75         | 4,5               | 10                     | 0,2          | 0,75        | 7,5                 | 5,40         | 3,78                 | 37,75                 | 48,00              |
| 4  | 289,5       | 290,75         | 4,5               | 10                     | 0,2          | 1,25        | 9,5                 | 9,65         | 7,53                 | 75,25                 | 123,25             |
| 5  | 289         | 290,75         | 4,5               | 10                     | 0,2          | 1,75        | 11,5                | 14,90        | 12,28                | 122,75                | 246,00             |
| 6  | 288,5       | 290,75         | 4,5               | 10                     | 0,2          | 2,25        | 13,5                | 21,15        | 18,03                | 180,25                | 426,25             |
| 7  | 288         | 290,75         | 4,5               | 10                     | 0,2          | 2,75        | 15,5                | 28,40        | 24,78                | 247,75                | 674,00             |
| 8  | 287,5       | 290,75         | 4,5               | 10                     | 0,2          | 3,25        | 17,5                | 36,65        | 32,53                | 325,25                | 999,25             |
| 9  | 287         | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 3,75        | 19,5                | 45,90        | 41,28                | 619,13                | 1 618,38           |
| 10 | 286,5       | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 4,25        | 21,5                | 56,15        | 51,03                | 765,38                | 2 383,75           |
| 11 | 286         | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 4,75        | 23,5                | 67,40        | 61,78                | 926,63                | 3 310,38           |
| 12 | 285,5       | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 5,25        | 25,5                | 79,65        | 73,53                | 1 102,88              | 4 413,25           |
| 13 | 285         | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 5,75        | 27,5                | 92,90        | 86,28                | 1 294,13              | 5 707,38           |
| 14 | 284,5       | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 6,25        | 29,5                | 107,15       | 100,03               | 1 500,38              | 7 207,75           |
| 15 | 284         | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 6,75        | 31,5                | 122,40       | 114,78               | 1 721,63              | 8 929,38           |
| 16 | 283,5       | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 7,25        | 33,5                | 138,65       | 130,53               | 1 957,88              | 10 887,25          |
| 17 | 283         | 290,75         | 4,5               | 20                     | 0,2          | 7,75        | 35,5                | 155,90       | 147,28               | 2 945,50              | 13 832,75          |
| 18 | 283,5       | 290,75         | 4,5               | 20                     | 0,2          | 7,25        | 33,5                | 138,65       | 147,28               | 2 945,50              | 16 778,25          |
| 19 | 284         | 290,75         | 4,5               | 20                     | 0,2          | 6,75        | 31,5                | 122,40       | 130,53               | 2 610,50              | 19 388,75          |
| 20 | 284,5       | 290,75         | 4,5               | 20                     | 0,2          | 6,25        | 29,5                | 107,15       | 114,78               | 2 295,50              | 21 684,25          |
| 21 | 285         | 290,75         | 4,5               | 20                     | 0,2          | 5,75        | 27,5                | 92,90        | 100,03               | 2 000,50              | 23 684,75          |
| 22 | 285,5       | 290,75         | 4,5               | 20                     | 0,2          | 5,25        | 25,5                | 79,65        | 86,28                | 1 725,50              | 25 410,25          |
| 23 | 286         | 290,75         | 4,5               | 18                     | 0,2          | 4,75        | 23,5                | 67,40        | 73,53                | 1 323,45              | 26 733,70          |

| N° | Côte TN (m) | Côte Digue (m) | Largeur Crête (m) | Distance Partielle (m) | Décapage (m) | H=Di-TN (m) | Largeur en base (m) | Section (m²) | Section moyenne (m²) | Volume partielle (m³) | Volume cumulé (m³) |
|----|-------------|----------------|-------------------|------------------------|--------------|-------------|---------------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| 24 | 286,5       | 290,75         | 4,5               | 14,5                   | 0,2          | 4,25        | 21,5                | 56,15        | 61,78                | 895,74                | 27 629,44          |
| 25 | 287         | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 3,75        | 19,5                | 45,90        | 51,03                | 765,38                | 28 394,81          |
| 26 | 287,5       | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 3,25        | 17,5                | 36,65        | 41,28                | 619,13                | 29 013,94          |
| 26 | 288         | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 2,75        | 15,5                | 28,40        | 32,53                | 487,88                | 29 501,81          |
| 26 | 288,5       | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 2,25        | 13,5                | 21,15        | 24,78                | 371,63                | 29 873,44          |
| 26 | 289         | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 1,75        | 11,5                | 14,90        | 18,03                | 270,38                | 30 143,81          |
| 26 | 289,5       | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 1,25        | 9,5                 | 9,65         | 12,28                | 184,13                | 30 327,94          |
| 26 | 290         | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 0,75        | 7,5                 | 5,40         | 7,53                 | 112,88                | 30 440,81          |
| 26 | 290,5       | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | 0,25        | 5,5                 | 2,15         | 3,78                 | 56,63                 | 30 497,44          |
| 26 | 291         | 290,75         | 4,5               | 15                     | 0,2          | -0,25       | 3,5                 | - 0,10       | 1,03                 | 15,38                 | <b>30 506,25</b>   |

▪ **Métré des annexes de la digue**

|                                             |               |              |              |                          |                           |                                |
|---------------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Drain aval et butée de pieds (triangulaire) | hauteur (m)   | Largeur (m)  | Longueur (m) | Pente                    | <b>Volume déblai (m³)</b> | <b>Volume enrochement (m³)</b> |
|                                             | 0,5           | 1,5          | 995          | 1V/1H                    | <b>746,25</b>             | <b>746,25</b>                  |
| Muret (amont et aval)                       | Hauteur (m)   | Largeur (m)  | Longueur (m) | <b>Volume (m³)</b>       |                           |                                |
|                                             | 0,5           | 0,5          | 995          | <b>248,75</b>            |                           |                                |
| Drain                                       | Epaisseur (m) | Longueur (m) | Largeur (m)  | <b>Volume sable (m³)</b> |                           |                                |
|                                             | 0,2           | 10           | 995          | <b>1990</b>              |                           |                                |

▪ **Métré de l'ouvrage de prise**

|                                 |             |              |             |                    |
|---------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------------|
| Bacs de réception amont et aval | Largeur (m) | Longueur (m) | Hauteur (m) | <b>Volume (m³)</b> |
|                                 | 1           | 1,60         | 0,6         | <b>2,3</b>         |
| Conduite et Ecran anti-renard   | 0,2         | 30,8         | 1           | <b>6,2</b>         |

▪ **Métre tranchée d'encrage**

|                    |             |                |                       |                       |          |              |                    |
|--------------------|-------------|----------------|-----------------------|-----------------------|----------|--------------|--------------------|
| Tranché manuelle   | hauteur (m) | largeur (m)    | L (m)                 | <b>Volume (m³)</b>    |          |              |                    |
|                    | 1,5         | 1              | 100                   | <b>150</b>            |          |              |                    |
| Encrage lit mineur | Pente       | Profondeur (m) | Largeur supérieur (m) | Largeur inférieur (m) | Longueur | Surface (m²) | <b>Volume (m³)</b> |
|                    | 3V/1H       | 5,5            | 16,5                  | 3,5                   | 100      | 55           | <b>2750</b>        |
| Encrage lit majeur | 3V/1H       | 4              | 12                    | 3,5                   | 150      | 31           | <b>2325</b>        |
| Encrage lit rive   | 3V/1H       | 1              | 3                     | 3,5                   | 780      | 3,25         | <b>1267,5</b>      |

▪ **Métre évacuateur de crue**

|                            |                  |                   |                         |                          |                           |                           |                                    |
|----------------------------|------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Déversoir                  | Longueur (m)     | Hauteur (m)       | Largeur b1 (m)          | Largeur b2 (m)           | Encrage fondation (m)     | <b>Volume déblai (m³)</b> | <b>Volume béton cyclopéen (m³)</b> |
|                            | 35               | 5,00              | 1                       | 9,7                      | 5,00                      | <b>157,5</b>              | <b>872,22</b>                      |
| Bassin de dissipation      | Longueur (m)     | Profondeur (m)    | Largeur (m)             | <b>Volume béton (m³)</b> |                           |                           |                                    |
|                            | 35               | 1,00              | 3                       | <b>115,5</b>             |                           |                           |                                    |
| Murs bajoyers              | Epaisseur e0 (m) | Hauteur voile (m) | Epaisseur fondation (m) | Largeur fondation (m)    | <b>Volume déblai (m³)</b> | <b>Volume béton (m³)</b>  |                                    |
|                            | 0,4              | 9,2               | 1,45                    | 5                        | <b>285,66</b>             | <b>285,66</b>             |                                    |
| Filtre en matériau sableux | Epaisseur (m)    | Largeur (m)       | Longueur (m)            | <b>Volume sable (m³)</b> |                           |                           |                                    |
|                            | 0,1              | 35                | 12                      | <b>40,81</b>             |                           |                           |                                    |
| Protection bassin          | Hauteur (m)      | Epaisseur (m)     | Longueur (m)            | <b>Volume (m³)</b>       |                           |                           |                                    |
|                            | 2,00             | 0,4               | 3                       | <b>4,8</b>               |                           |                           |                                    |

▪ Devis estimatif

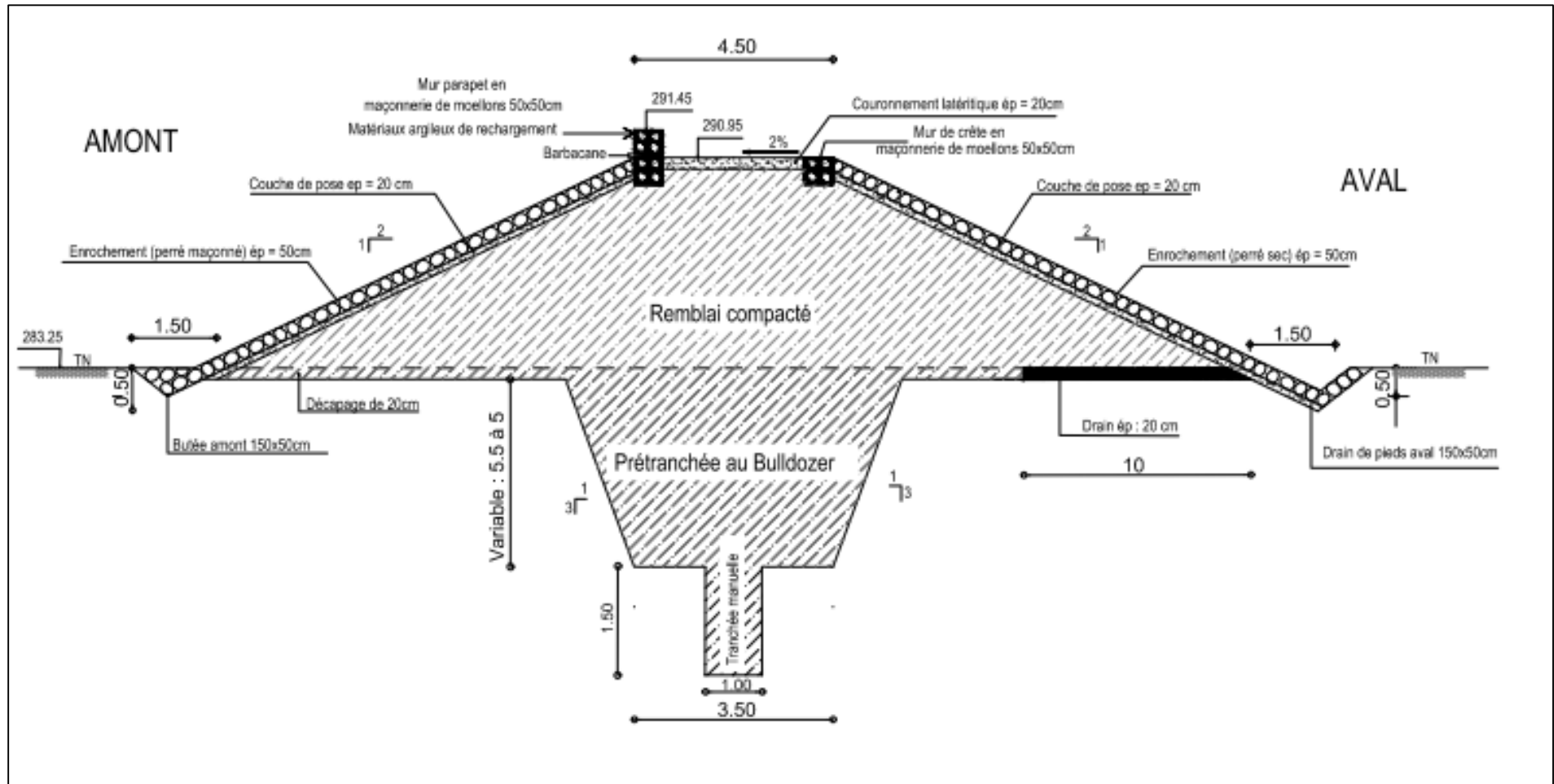
| N°         | Désignation des ouvrages                                                             | Unité   | Quantité | Prix unitaire (FCFA) | Montant (FCFA)     |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|----------------------|--------------------|
| <b>I</b>   | <b>AMENE, REPLI DU MATERIEL ET INSTALLATION DE CHANTIER</b>                          |         |          |                      |                    |
| I.1        | Amenée et repli du matériel                                                          | forfait | 1        | 10 000 000           | 10 000 000         |
| I.2        | Installation et fonctionnement du chantier                                           | forfait | 1        | 10 000 000           | 10 000 000         |
| I.3        | Elaboration des plans d'exécution, de recollement et implantation des ouvrages       | forfait | 1        | 5 000 000            | 5 000 000          |
|            | <b>Sous total I</b>                                                                  |         |          |                      | <b>25 000 000</b>  |
| <b>II</b>  | <b>TRANCHEE D'ENCRAGE ET FONDATION</b>                                               |         |          |                      |                    |
| II.1       | Déblai aux engins pour prétranchée d'encrage (lit mineur) et tranchée (lit majeur)   | m³      | 6 343    | 4 000                | 25 370 000         |
| II.2       | Déblai manuel pour tranchée d'ancrage au niveau du lit mineur                        | m³      | 150      | 3 000                | 450 000            |
| II.3       | Remblai argileux aux engins pour tranchée d'ancrage                                  | m³      | 6 343    | 5 000                | 31 712 500         |
|            | <b>Sous total II</b>                                                                 |         |          |                      | <b>57 532 500</b>  |
| <b>III</b> | <b>DIGUE</b>                                                                         |         |          |                      |                    |
| III.1      | Déblai de l'ancienne digue                                                           | m²      | 4 620    | 4 000                | 18 480 000         |
| III.2      | Débroussaillage, décapage de l'emprise de la digue                                   | m²      | 35 535   | 300                  | 10 660 500         |
| III.3      | Déblai aux engins pour drain aval et butée de pieds amont                            | m³      | 746      | 4 000                | 2 985 000          |
| III.4      | Déblai à la main dans le remblai pour muret de crête                                 | m³      | 249      | 4 500                | 1 119 375          |
| III.5      | Remblai argileux compacté aux engins pour corps de la digue                          | m³      | 30 506   | 5 000                | 152 531 250        |
| III.6      | Couche de couronnement latéritique de 20 cm d'épaisseur pour crête                   | m³      | 896      | 4 000                | 3 582 000          |
| III.7      | Couche de pose sur talus amont et aval                                               | m³      | 995      | 4 000                | 3 980 000          |
| III.8      | Matériaux sableux calibré pour filtre                                                | m³      | 1 990    | 10 000               | 19 900 000         |
| III.9      | Perré sec sur talus aval                                                             | m²      | 4 975    | 6 000                | 29 850 000         |
| III.10     | Perré maçonné sur talus amont                                                        | m²      | 4 725    | 15 000               | 70 875 000         |
| III.11     | Enrochement rangé à la main pour butée et drain                                      | m³      | 746      | 10 000               | 7 462 500          |
| III.12     | Maçonnerie de moellons pour mur de crête aval et mur parapet                         | m³      | 498      | 30 000               | 14 925 000         |
|            | <b>Sous total III</b>                                                                |         |          |                      | <b>336 350 625</b> |
| <b>IV</b>  | <b>DIGUETTES DE PROTECTION</b>                                                       |         |          |                      |                    |
| IV.1       | Débroussaillage, décapage de l'emprise de la digue de protection (épaisseur : 20 cm) | m²      | 4 500,00 | 300                  | 1 350 000          |
| IV.2       | Déblai aux engins pour drain aval et butée de pieds amont                            | m³      | 125,00   | 4 000                | 500 000            |
| IV.3       | Remblai argileux compacté aux engins pour corps de la digue                          | m³      | 6 000,00 | 5 000                | 30 000 000         |

| N°         | Désignation des ouvrages                                                       | Unité | Quantité | Prix unitaire (FCFA) | Montant (FCFA)     |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|----------------------|--------------------|
| IV.4       | Couche de couronnement latéritique de 20 cm d'épaisseur pour crête             | m³    | 300,00   | 4 000                | 1 200 000          |
| IV.5       | Couche de pose sur talus amont et aval                                         | m³    | 100,00   | 4 000                | 400 000            |
| IV.6       | Enrochement rangé à la main pour butée                                         | m³    | 125,00   | 10 000               | 1 250 000          |
| IV.7       | Perré sec sur talus amont et aval                                              | m²    | 500,00   | 6 000                | 3 000 000          |
|            | <b>Sous total IV</b>                                                           |       |          |                      | <b>37 700 000</b>  |
| <b>V</b>   | <b>DEVERSOIR, MUR BAJOYER ET BASSIN DE DISSIPATION</b>                         |       |          |                      |                    |
| V.1        | Déblai aux engins pour bassin de dissipation                                   | m³    | 105,0    | 4 000                | 420 000            |
| V.2        | Déblai dans la fondation pour déversoir                                        | m³    | 157,5    | 4 500                | 708 750            |
| V.3        | Déblai à la main dans le remblai pour bajoyers                                 | m³    | 285,7    | 4 500                | 1 285 470          |
| V.4        | Filtre sous talus aval et bassin de dissipation (épaisseur 10 cm)              | m³    | 40,8     | 10 000               | 408 109            |
| V.5        | Béton de propreté dosé à 150kg/m³                                              | m³    | 40,8     | 70 000               | 2 856 762          |
| V.6        | Béton armé dosé à 350 kg/m³ pour bajoyers                                      | m³    | 285,7    | 150 000              | 42 849 000         |
| V.7        | Béton ordinaires dosé à 300 kg/m³ pour bassin de dissipation et blocs chicanes | m³    | 115,5    | 120 000              | 13 860 000         |
| V.8        | Béton armé coulé en élévation par plot dosé à 350 kg/m³ pour déversoir         | m³    | 872,2    | 150 000              | 130 832 667        |
| V.9        | Béton armé coulé en inclinaison dosé à 350 kg/m³ pour talus aval               | m³    | 4,8      | 150 000              | 720 000            |
| V.10       | Fourniture et pose de joints Waterstop pour bajoyers                           | m     | 250,0    | 45 000               | 11 250 000         |
| V.11       | Fourniture et pose de tuyaux PVC D50 pour barbacanes                           | m     | 100,0    | 2 500                | 250 000            |
| V.12       | Fourniture et pose de joints bitumineux pour bassin de dissipation             | m     | 300,0    | 6 750                | 2 025 000          |
|            | <b>Sous total V</b>                                                            |       |          |                      | <b>207 465 759</b> |
| <b>VI</b>  | <b>CHENAL D'EVACUATION</b>                                                     |       |          |                      |                    |
| VI.1       | Déblai aux engins pour chenal                                                  | m³    | 1 050    | 4 000                | 4 200 000          |
| VI.2       | Enrochement pour protection du chenal                                          | m³    | 53       | 10 000               | 525 000            |
| VI.3       | Gabions métalliques posés 2*1*0,50 pour le chenal                              | U     | 105      | 45 000               | 4 725 000          |
|            | <b>Sous total VI</b>                                                           |       |          |                      | <b>9 450 000</b>   |
| <b>VII</b> | <b>OUVRAGES DE PRISE ET DE VIDANGE</b>                                         |       |          |                      |                    |
| VII.1      | Déblai à la main pour bacs amont et aval                                       | m³    | 2,3      | 4 500                | 10 368             |
| VII.2      | Déblai à la main à travers le remblai pour conduite et écrans anti renard      | m³    | 6,2      | 4 500                | 27 730             |
| VII.3      | Enrochements rangés à la main autour du bac amont et plateforme                | m³    | 2,3      | 10 000               | 23 040             |
| VII.4      | Maçonnerie de moellons pour escaliers d'accès                                  | m³    | 3,0      | 30 000               | 90 000             |
| VII.5      | Béton de propreté dosé à 150 kg/m³ pour bacs amont, aval et conduite           | m³    | 0,2      | 70 000               | 13 440             |

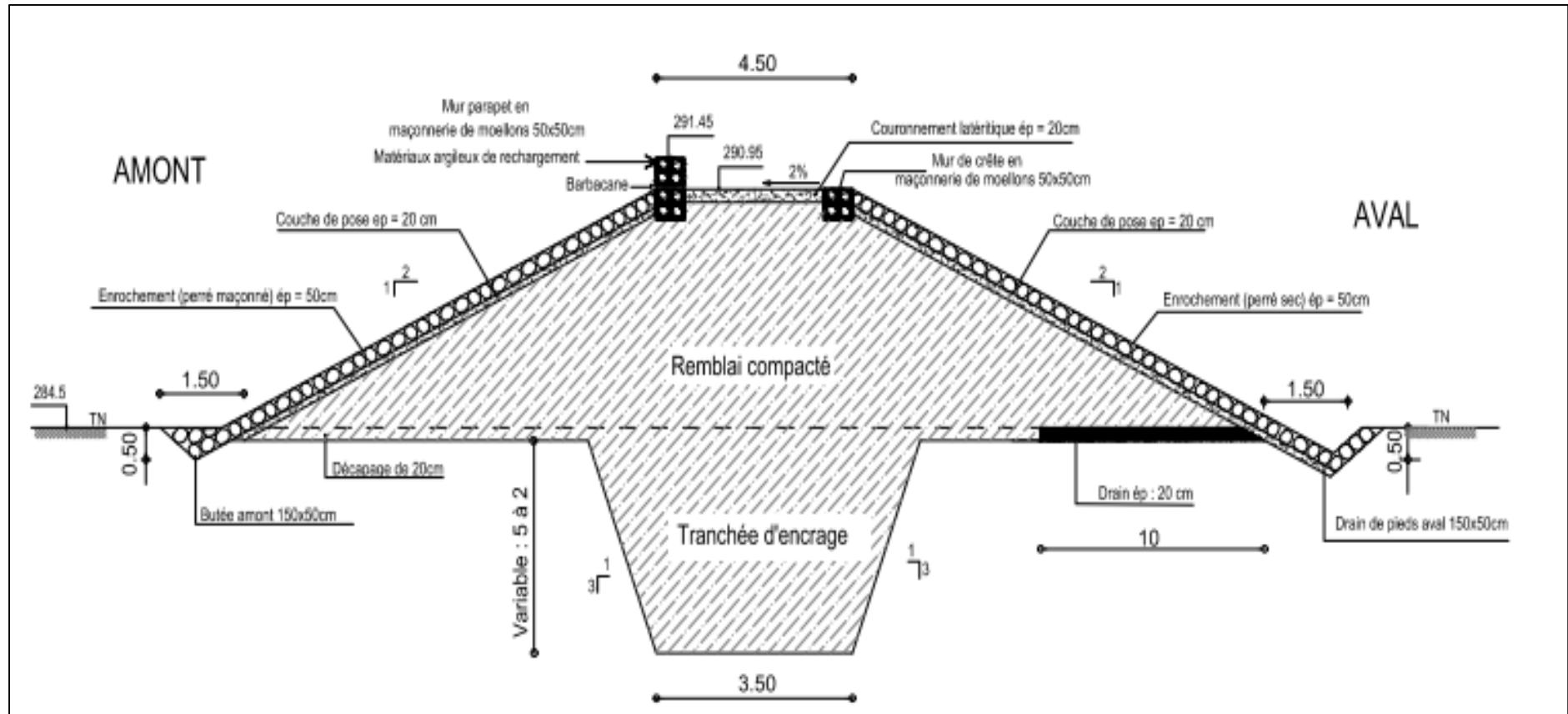
| N°          | Désignation des ouvrages                                                          | Unité | Quantité | Prix unitaire (FCFA) | Montant (FCFA)     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|----------------------|--------------------|
| VII.6       | Béton ordinaire dosé à 300 kg/m3 pour enrobage de la conduite                     | m³    | 24,6     | 120 000              | 2 957 845          |
| VII.7       | Béton armé vibré dosé à 350 kg/m3 pour bacs                                       | m³    | 3,1      | 150 000              | 460 800            |
| VII.8       | Béton armé vibré dosé à 350 kg/m3 écrans anti renard                              | m³    | 4,5      | 150 000              | 675 000            |
| VII.9       | Echelle de descente en fer T12 dans les bacs amont et aval                        | U     | 2,0      | 50 000               | 100 000            |
| VII.10      | Grille de protection des bacs amont et aval en fer HA 12 avec cadenas             | U     | 2,0      | 100 000              | 200 000            |
| VII.11      | Conduite en fonte DN300 et accessoires                                            | m     | 30,8     | 200 000              | 6 162 178          |
| VII.12      | Robinet vanne DN 300 et accessoires                                               | U     | 1,0      | 2 000 000            | 2 000 000          |
| VII.13      | Crépine DN 300 et accessoires (de fabrication locale)                             | U     | 1,0      | 50 000               | 50 000             |
|             | <b>Sous total VII</b>                                                             |       |          |                      | <b>12 770 401</b>  |
| <b>VIII</b> | <b>DISPOSITIF D'AUSCULTATION DU BARRAGE</b>                                       |       |          |                      |                    |
| VIII.1      | Echelle limnimétrique pour unité de 1 m fabriqué en usine                         | m     | 5        | 100 000              | 500 000            |
| VIII.2      | Mise en place de bornes de nivellement sur la digue et les rives                  | U     | 4        | 50 000               | 200 000            |
|             | <b>Sous total VIII</b>                                                            |       |          |                      | <b>700 000</b>     |
| <b>IX</b>   | <b>CUVETTE DU BARRAGE</b>                                                         |       |          |                      |                    |
| IX.1        | Abattage des arbres à la cote PHE                                                 | U     | 200      | 27 500               | 5 500 000          |
| IX.2        | Bornage de la limite de la cote PHE avec des balises parallélépipédiques en béton | U     | 100      | 75 000               | 7 500 000          |
|             | <b>Sous total IX</b>                                                              |       |          |                      | <b>13 000 000</b>  |
|             | <b>TOTAL GENERAL HORS TAXE</b>                                                    |       |          |                      | <b>699 969 285</b> |
|             | <b>TVA (18%)</b>                                                                  |       |          |                      | <b>125 994 471</b> |
|             | <b>TOTAL GENERAL TOUTE TAXE CONFONDUE (TTC)</b>                                   |       |          |                      | <b>825 963 756</b> |

### Annexe 13 : Pièces graphiques

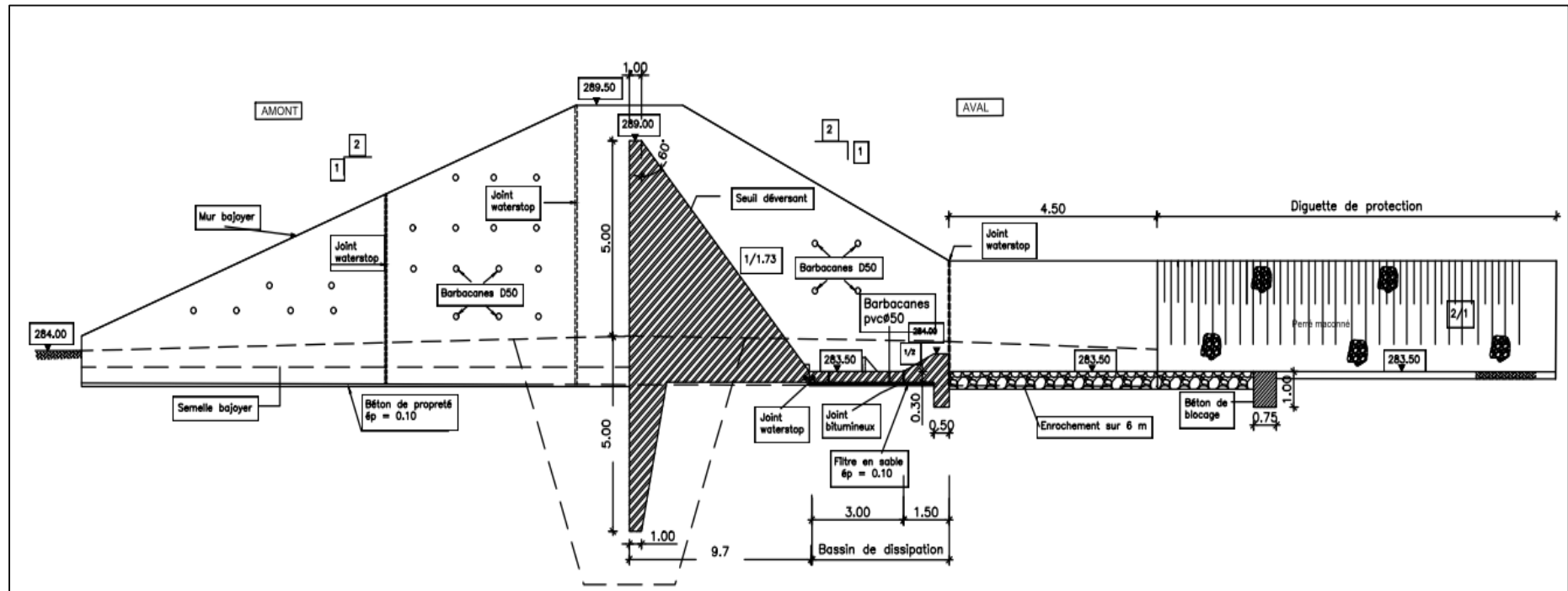
- Profil en travers type de la digue au niveau du lit mineur (50 m de part et d'autre du lit mineur)



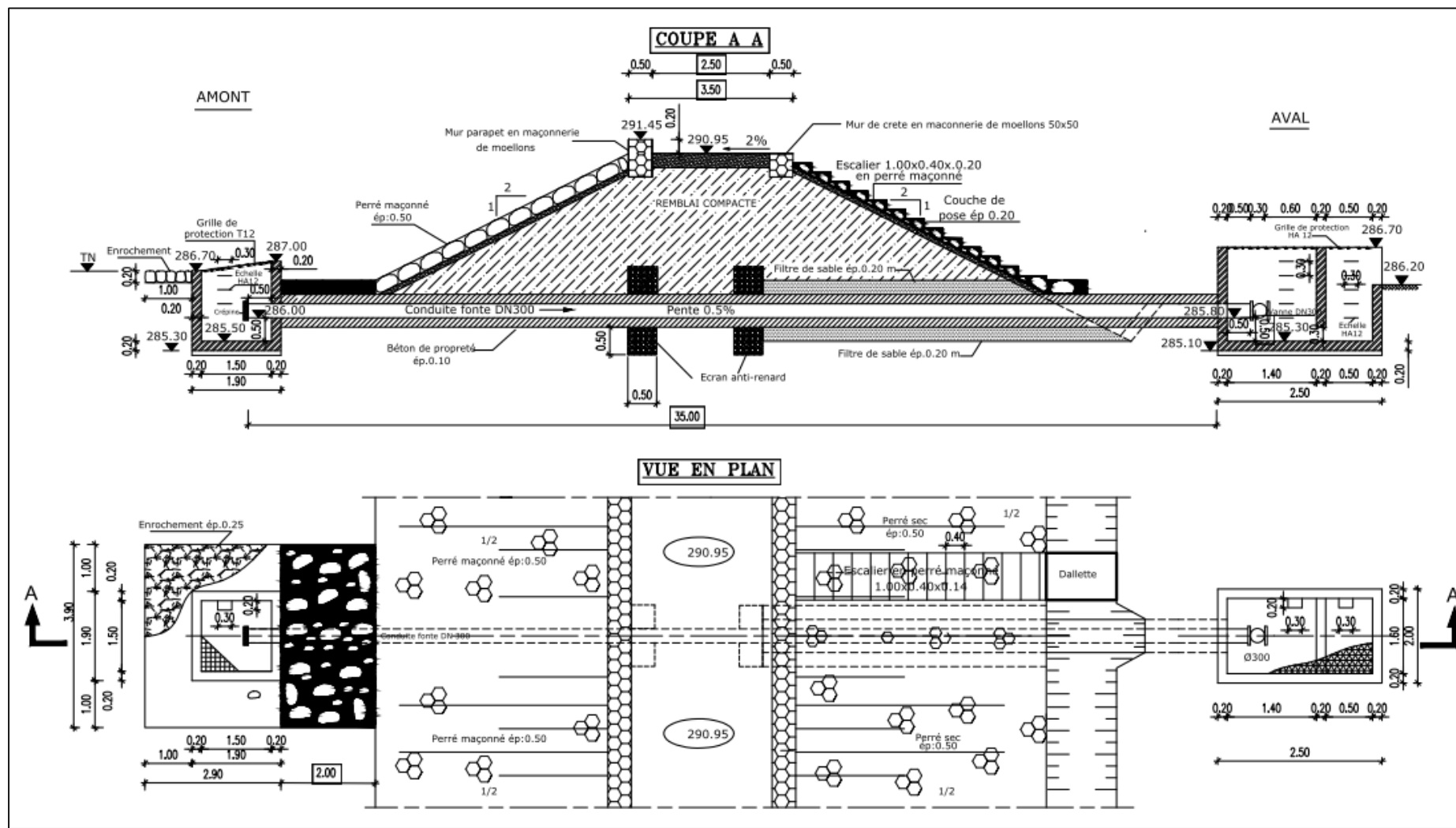
▪ Profil en travers type de la digue en dehors du lit mineur



▪ Coupe de l'évacuateur de crue



▪ Vue en plan et en coupe de l'ouvrage de prise



▪ Profil en travers type de la diguette de protection

