



**ETUDES TECHNIQUES POUR LA REALISATION DU BARRAGE DE TOUGOUYA
KOKO, COMMUNE DE BASSI, PROVINCE DU ZONDOMA, REGION DU NORD
AU BURKINA FASO**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE MASTER
SPECIALITE : GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le 28 janvier 2021 par :

Hamidou OUEDRAOGO (20100489)

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

Maître de Stage : Sombewendin Patrick SAWADOGO, Ingénieur du Génie Rural, DGIH

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

Jury d'évaluation du Mémoire :

Président du Jury : **Dr Dial NIANG**

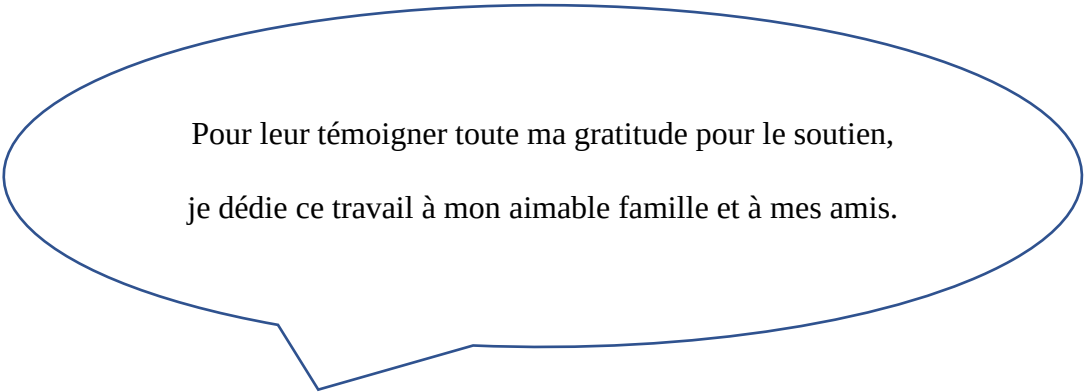
Membres et Correcteurs :

M. Moussa FAYE

M. Moussa KAFANDO

Promotion [2020/2021]

DEDICACE



Pour leur témoigner toute ma gratitude pour le soutien,
je dédie ce travail à mon aimable famille et à mes amis.

REMERCIEMENTS

Ma formation au sein de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2ie), a été rendue possible grâce au soutien toujours renouvelé de nombreuses personnes.

Comme l'a dit Ahmadou KOUROUMA « Il faut toujours remercier l'arbre à karité sous lequel on a ramassé de bons fruits pendant la bonne saison ».

Je voudrais donc exprimer toute ma reconnaissance à :

- L'ensemble du corps professoral et administratif de 2iE, plus particulièrement à tous ceux qui ont contribué à ma formation ;
- Mon Directeur de mémoire à 2iE, Monsieur Moussa LO, Enseignant au Département Génie Civil et Hydraulique (GCH) pour sa disponibilité, son assistance et ses conseils tout au long du processus d'élaboration de ce mémoire ;
- Monsieur le Directeur Général des Infrastructures Hydrauliques pour l'opportunité de stage qu'il a bien voulu nous accorder ainsi que pour l'accueil chaleureux, les conseils, l'écoute et la mise à notre disposition des moyens matériels et humains pour la réussite du stage ;
- Messieurs Ernest YE OUEBABENI et Koudougou Achille SEDGA respectivement Directeur des Etudes et Travaux (DET) et Directeur des Opérations de Maintenance des Ouvrages Hydrauliques (DMOH) à la DGIH pour l'accueil et pour avoir facilité le déroulement du stage ;
- Monsieur Martin de Porrès TANGA, chef de service suivi et exploitation à la DGIH pour sa disponibilité, ses conseils et l'appui technique à notre égard durant le stage ;
- Mon maître de stage, Monsieur Sombewendin Patrick SAWADOGO, pour son dévouement au travail, son encadrement sans faille tout au long du stage ;
- Tout le personnel de la DGIH pour l'accueil et surtout leur ouverture qui a facilité mon intégration durant le stage ;
- Tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ma formation.

RESUME

Le présent mémoire présente les résultats des études techniques pour la construction du barrage de Tougouya Koko. Ce projet entre dans le cadre des constructions et réhabilitations de divers barrages dans plusieurs régions du Burkina entreprises par le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA) conformément à la politique nationale en matière de sécurité alimentaire et de réduction de la pauvreté en milieu rural. Cette étude a pour but de réaliser des études techniques pour la construction du barrage de Tougouya Koko. Pour ce faire, des études de base sont effectuées afin de permettre le dimensionnement d'une digue, d'un évacuateur de crue, des ouvrages annexes et la mise en place d'un plan de gestion environnementale et sociale. Le site choisi est alimenté par un bassin versant de 321,31 km², recevant une pluie moyenne annuelle de 667,42 mm et drainant en moyenne 8,32 millions m³ d'eau par an. L'étude projette pour ce site, la construction d'un barrage long de 1076 m (déversoir y compris) avec une largeur en crête de 4,00 m calée à la côte 313,30 m. Les talus ont une pente de 2,5H/1V et sont protégés par du perré sec. L'évacuateur de crue est un déversoir de type poids en béton cyclopéen à section trapézoïdale, callé à la côte 311,50 m, positionné en rive droite et ayant une longueur de 110 m. Cette côte du déversoir engendre un plan d'eau de 511,74 ha et un volume d'environ 6 millions de m³. En aval du déversoir se trouve un bassin de dissipation à ressaut de 4 m de long. Un ouvrage de prise sera construit afin de rendre l'eau disponible en aval pour les besoins agricoles. L'eau disponible permettra l'aménagement de 100 ha de cultures maraichères. Le coût des travaux est de **1 071 127 423** francs CFA Hors Taxes. La mise en œuvre du plan de gestion environnementale et sociale est estimée à **263 870 500** francs CFA Hors taxes, soit un coût global du projet estimé à **1 334 997 923** francs CFA Hors Taxes.

Mots clés

1. Barrage
2. Bassin versant
3. Dimensionnement
4. Déversoir poids
5. Tougouya koko

ABSTRACT

This brief outlines the results of the technical studies for the construction of the Tougouya Koko dam. This project is part of the construction and rehabilitation of various dams in several regions of Burkina undertaken by the Water and Sanitation Department in accordance with the national policy on food security and poverty reduction in rural areas. The purpose of this study is to carry out the technical studies for the construction of Tougouya Koko dam. To achieve this goal, basic studies are carried out in order to allow the designing of a dike, a spillway, ancillary works and the implementation of an environmental and social management plan. The chosen site is fed by a catchment area of 321.31 km², receiving an average annual rainfall of 667.42 mm and draining an average of 8.32 million m³ of water per year. This study is planning to equip the site with a dam 1076 m long (including the spillway) with a crest width of 4 m set at the 313.30 m shoreline. The embankments have a slope of 2,5H/1V and are protected by dry drilling. The spillway is a trapezoidal cross-section weight spillway type made of cyclopean concrete with a length of 110 m, positioned on the right bank, wedged to the 311.50 m hillside. This height of the spillway generates a body of water of 511.74 ha and a volume of approximately 6 million m³. Downstream of the spillway there is a 4 m wide overflow dissipation basin. An intake structure will be built to make the water available downstream for agricultural purposes. The available water will allow the development of 100 ha of market gardening. The cost of the works is **1 071 127 423** francs excluding taxes. The implementation of the environmental and social management plan is estimated at **263,870,500** CFA francs excluding tax, giving a total project cost estimated at **1,334,997,923** CFA francs excluding tax.

Key words

1. Dam
2. Catchment area
3. Designing
4. Weighing weir
5. Tougouya koko

FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE

1. LOCALISATION

- Village : Tougouya koko
- Commune : Bassi
- Province : Zondoma
- Région : Nord
- Coordonnées : Longitude :02°10'34,88''O
: Latitude :13° 18' 18,64'' N

2. BASSIN-VERSANT

- Superficie du bassin versant : 321,31 km²
- Débit de crue de projet (Centennale) : 224,29 m³/s
- Pluviométrie moyenne annuelle (Pan) : 667,42 mm
- Apport liquide annuel en année moyenne : 8 323 536,17 m³
- Apport liquide annuel en année quinquennale sèche : 6 282 810,54 m³
- Apport liquide annuel en année décennale sèche : 3 740 705,17 m³
- Apports solides annuels moyens : 28 619,06 m³

3. RETENUE

- Côte du Plan d'Eau Normal (PEN) : 311,50 m
- Côte Plus Hautes Eaux (PHE) : 312,30 m
- Côte minimale de la retenue : 307,16 m
- Volume à la cote Retenue Normale : 6 013 839 m³
- Volume aux Plus Hautes Eaux : 10 955 004 m³
- Surface plan d'eau à la cote de Retenue Normale : 511,74 ha
- Surface inondée à la cote des Plus Hautes Eaux : 709,6ha
- Hauteur maximale d'eau au PEN : 4,34 m
- Fetch : 6,50 km

4. DIGUE

- Type : homogène en terre
- Longueur (déversoir y compris) : 1 076 m
- Côte de la crête : 313,30 m
- Hauteur maximale : 5,10 m
- Largeur en crête : 4,00 m
- Pente de talus amont : 2,5H/1V
- Pente de talus aval : 2,5H/1V
- Volume de remblai digue : 33 577 m³

5. TRANCHEE D'ANCRAGE

- Largeur au plafond : 3,50 m
- Profondeur max : 5,50 m
- Pente des talus : 1H/3V
- Volume de la tranchée d'ancrage : 17 740 m³

6. EVACUATEURS DE CRUE

- Type : Déversoir de type poids
- Position : Semi latéral rive droite
- Débit de dimensionnement : 224,29 m³/s
- Débit laminé : 135,89 m³/s
- Charge maximale sur le déversoir : 0,80 m
- Revanche : 1,00 m
- Cote de calage : 311,30 m
- Longueur du déversoir : 110 m
- Hauteur du déversoir : 3,30 m
- Largeur bassin de dissipation : 4,00 m

7. PRISE D'EAU

- Type : Tour de prise amont
- Côte de prise (entrée) : Variant de 309,50 m – 310,40 m
- Côte de prise (sortie) : 308,90 m
- Diamètre de la conduite : 300 mm
- Longueur de la conduite : 27,00 m
- Vanne plate (1,20 m x 1,00 m) : 01
- Vanne papillon DN 300 : 01

SIGLES ET ABREVIATIONS

2iE	:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
AC3E	:	Agence Conseil pour l'Equipement, l'Eau et l'Environnement
ALOS	:	Advanced Land Observing Satellite
ANAM	:	Agence Nationale de la Météorologie du Burkina
CIEH	:	Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
DGIH	:	Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques
CIGB	:	Commission Internationale de Grands Barrages
EIER	:	Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural
ETM	:	Evapotranspiration Maximale
ETP	:	Evapotranspiration Potentielle
FAO	:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GPS	:	Global Positioning System
NIES	:	Notice d'Impact Environnemental et Social
ONBHA	:	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 Normal
PHE	:	Plus Hautes Eaux
RGPH	:	Recensement Général de la Population et de l'Habitation

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	
REMERCIEMENTS	i
RESUME.....	ii
ABSTRACT	iii
FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE.....	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS	vi
TABLE DES MATIERES	vii
LESTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES.....	x
INTRODUCTION GENRALE	1
I OBJECTIF DE L'ETUDE	2
1.1 Objectif général	2
1.2 Objectifs spécifiques.....	2
II PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL ET DE LA ZONE D'ETUDE.....	2
2.1 Présentation de la structure.....	2
2.2 Présentation de la zone d'étude	5
2.2.1 Situation géographique.....	5
2.2.2 Milieu physique.....	7
2.2.3 Situation démographique et socio-économique	10
III MATERIELS ET METHODES.....	11
3.1 Logiciels	11
3.2 Méthodes	11
3.2.1 Etude topographique et géotechnique	11
3.2.2 Etude de la pluviométrie	11
3.2.3 Etude hydrologique	12
3.2.4 Etude de la retenue	20
3.2.5 Dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes	22
3.2.6 Etude financière.....	29
3.2.7 Impact environnemental et social.....	29
IV RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	31
4.1 Etude topographique et géotechnique.....	31
4.2 Etude hydrologique.....	33
4.2.1 Analyse fréquentielle des pluies.....	33
4.2.2 Caractérisation du bassin versant	35
4.2.3 Calculs des crues	36

4.2.4	Hydrogramme de crue	37
4.3	Etude la retenue	38
4.3.1	Calculs des apports liquides	38
4.3.2	Calculs de pertes.....	38
4.3.3	Evaluation des besoins agricoles et pastoraux	38
4.4	Caractéristiques de la digue et des ouvrages annexes	40
4.4.1	Digue et tranchée d’ancrage	40
4.4.2	Déversoir	42
4.4.3	Bassin de dissipation	42
4.4.4	Murs bajoyers.....	43
4.4.5	Ouvrage de prise.....	45
4.4.6	Diguettes de protection.....	45
4.4.7	Dispositif de suivi et de protection du barrage.....	46
4.5	Impact environnemental	46
4.5.1	Identification des impacts.....	47
4.5.2	Evaluation des impacts.....	47
4.5.3	Mesures d’atténuation et de compensation	49
4.5.4	Mesures de bonification des impacts positifs.....	53
4.6	Etude financière	55
4.6.1	Avant métré des ouvrages	55
4.6.2	Coût du projet.....	55
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS		56
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		57
ANNEXES		x
Annexe 1 : Etude hydrologique.....		xi
Annexe 2 : Etude de la retenue.....		xxi
Annexe 3 : Dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes		xxxii
Annexe 4 : Dimensionnement du déversoir		xlvi
Annexe 5 : Impact environnemental		li
Annexe 6 : Devis quantitatif et estimatif du projet		liii
Annexe 7 : Pièces graphiques.....		lxxi

LESTE DES TABLEAUX

Tableau I: Classe du bassin versant en fonction de sa taille	12
Tableau II: Classes de bassins en fonction de la pente.....	13
Tableau III: Coefficients des équations de la méthode CIEH	17
Tableau IV: Formules de calcul de la période de retour	18
Tableau V: Formules de calcul des apports solides	20
Tableau VI: Fruit indicatif des talus des barrages stables	24
Tableau VII: Formules de calcul du débit de fuite et de l'épaisseur du filtre.....	25
Tableau VIII: Récapitulatif des valeurs caractéristiques des pluies annuelles.....	33
Tableau IX: Récapitulatif des valeurs caractéristiques des pluies maximales journalières	34
Tableau X: Paramètres physiques du bassin versant.....	36
Tableau XI: Résultats calcul de la crue décennale et de projet.....	36
Tableau XII: Synthèse des apports liquides en m3	38
Tableau XIII: Synthèse des pertes par évaporation et infiltration.....	38
Tableau XIV: Estimation des superficies aménageable en fonction du temps	39
Tableau XV: Synthèse des besoins agro pastoraux.....	39
Tableau XVI: Taux de remplissage du barrage.....	40
Tableau XVII: Synthèse des caractéristiques de la digue	41
Tableau XVIII: Synthèse des dimensions géométriques du déversoir trapézoïdal	42
Tableau XIX: Caractéristiques du bassin de dissipation	43
Tableau XX: Caractéristiques murs bajoyers	44
Tableau XXI: Table des armatures du mur bajoyer	44
Tableau XXII: Evolution de la cote de prise	45
Tableau XXIII: Matrice d'évaluation de FECTEAU Intensité de l'impact.....	47
Tableau XXIV: Matrice de LEOPOLD	48
Tableau XXV: Mesures d'atténuation sur le milieu physique	49
Tableau XXVI: Mesures d'atténuation sur le milieu biologique	51
Tableau XXVII: Mesures d'atténuation et de compensation sur le milieu humain	52
Tableau XXVIII: Mesures de bonification des impacts positifs	54
Tableau XXIX: Synthèse du coût global du projet	55

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de la DGIH	4
Figure 2: Carte de localisation du site du barrage	6
Figure 3: Températures moyennes mensuelles de la zone d'étude.....	8
Figure 4: Carte du bassin versant du barrage	9
Figure 5: Parabole de KOZENY	25
Figure 6: Illustration des différentes sollicitations du déversoir	26
Figure 7: Courbe hauteur-surface du barrage.....	31
Figure 8: Courbe hauteur-Volume du barrage	32
Figure 9: Ajustement des pluies moyennes annuelles par la loi normale	34
Figure 10: Ajustement des pluies maximales journalières par la loi de Gumbel	35
Figure 11: Hydrogramme de crue	37
Figure 12: Courbe d'exploitation de la retenue.....	40
Figure 13: Dimensions caractéristiques du mur bajoyer	44

INTRODUCTION GENERALE

La disponibilité et la maîtrise de la ressource en eau est une des préoccupations majeures des pays sahéliens. Le Burkina Faso où l'agriculture et l'élevage constituent des secteurs occupant majoritairement la population rurale vit également les mêmes difficultés. Cette situation est aggravée par les aléas climatiques, qui se manifestent par une baisse de la pluviométrie ainsi que sa mauvaise répartition spatiale et temporelle.

En effet, les changements climatiques, dans le contexte du Burkina Faso, restent caractérisés par une migration plus ou moins sensible des isohyètes, une migration sensible des isothermes, la forte variabilité de la pluviosité, l'augmentation de l'ampleur et de l'intensité des extrêmes climatiques tels que les sécheresses, les inondations, les vagues de chaleur, les vents violents et les vents de poussière (MERH, 2015).

De ce fait, il devient impératif de trouver des solutions afin de réduire dans la mesure du possible les effets néfastes de ces aléas sur la production agro-pastorale au niveau national. La maîtrise de l'eau de surface apparaît comme une nécessité vitale pour le pays dans la mesure où le secteur primaire reste dominé par l'agriculture qui contribue à hauteur de 30,3% au PIB (PNDES, 2015). Cette activité est d'autant plus importante pour l'économie nationale qu'elle demeure la principale source de revenu en milieu rural.

Dans cet ordre d'idées, la construction du barrage de Tougouya koko se situe dans le cadre des constructions et réhabilitations de divers barrages dans plusieurs régions du Burkina entreprises par le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA) conformément à la politique nationale en matière de sécurité alimentaire et de réduction de la pauvreté en milieu rural. Cette politique vise à améliorer et à assurer la durabilité de la production et des infrastructures au bénéfice des populations rurales afin de contribuer au développement du potentiel productif du secteur rural tout en préservant l'environnement.

L'ouvrage projeté a une vocation agro-pastorale. Les études sont confiées au bureau d'études AC3E qui a la charge de produire un mémoire technique proposant des solutions techniquement et économiquement viables pour la construction du barrage.

Notre contribution vise non seulement à mener au même titre que le consultant, une étude qui permettra au maître d'ouvrage d'approuver les propositions du consultant, mais aussi de formuler des recommandations, afin d'optimiser le coût et la qualité de l'ouvrage.

I OBJECTIF DE L'ETUDE

1.1 Objectif général

L'objectif général de cette étude est de fournir un mémoire technique pour la construction du barrage de Tougouya Koko dans la commune de Bassi, région du Nord.

1.2 Objectifs spécifiques

Notre travail consistera à :

- réaliser des études de base ;
- concevoir et dimensionner le barrage ;
- fournir des documents graphiques pour l'exécution des travaux ;
- faire une synthèse de l'évaluation d'impact environnemental et social du projet ;
- estimer le coût du projet.

II PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

2.1 Présentation de la structure

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

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

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

Outre ces directions techniques, la DGIH comporte des structures d'appui dont un Secrétariat de Direction, un Service Administratif et Financier, une Cellule d'Assistance. (Voir *Figure 1*)

En plus de sa mission principale ci-dessus, la DGIH assure la tutelle technique de projets et programmes de développement au nombre desquels on peut citer :

- le Projet de Mobilisation et de Valorisation des Eaux de surface dans la région du plateau Central (PMVEC) ;
- le Projet de Restauration, de Protection et de Valorisation du Lac Bam (PRPV/LB)

- le Projet de Valorisation du Barrage Souterrain de Naré et de réhabilitation des infrastructures connexes (PRV/BSN) ;
- le Programme de Développement Intégré de la vallée de Samendéni (PDIS) ;
- le Projet de Réhabilitation de Barrages et d'Aménagement de périmètres irrigués et de bas-fonds dans les provinces du Boulkiemdé, du Ziro, du Sanguié et des Balés (PRBA) ;
- le Projet de Construction du Barrage de Bambakari dans la commune de Tin-Akoff, province de l'Oudalan, région du Sahel, phase II (PCB-Bambakari) ;
- le PProjet d'Aménagements hydrauliques Multi-Usages et multi-villages pour la contribution à l'atteinte de la sécurité alimentaire dans la commune rurale de Kourinion, province du Kénédougou, région des Hauts-Bassins au Burkina Faso (PRAMU).

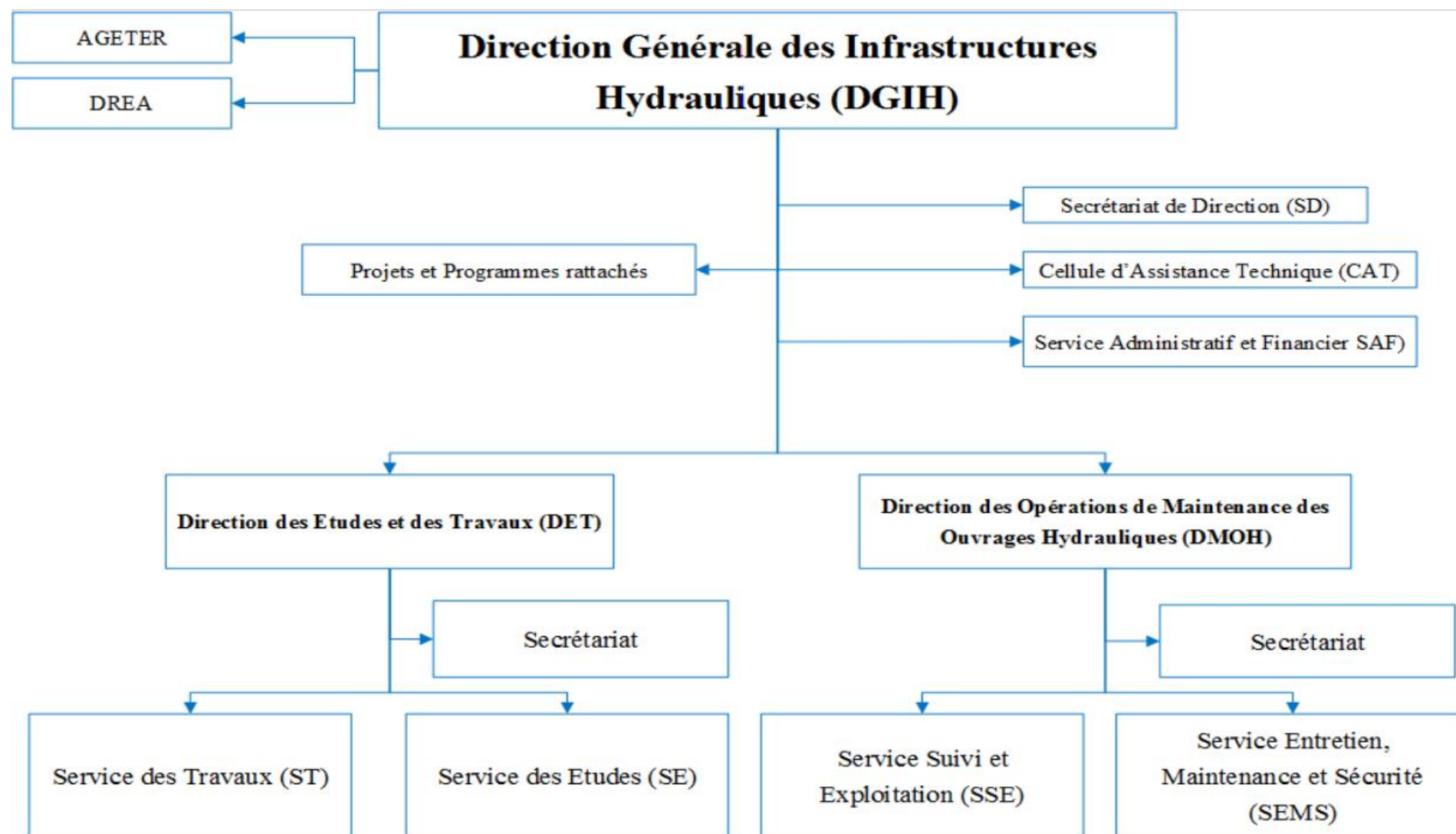


Figure 1: Organigramme de la DGIH

2.2 Présentation de la zone d'étude

2.2.1 Situation géographique

Tougouya Koko est un village qui relève administrativement de la Commune de Bassi, province du Zondoma, dans la région du Nord. Il est distant de Bassi d'environ 07km et de Gourcy chef-lieu de la province du Zondoma d'environ 27km. Il est limité :

- à l'Est par Kera- Douré;
- à l'Ouest par Bassi et Boussya
- au Nord par le village de Rondolga
- au Sud les villages de Tourgou –silmimoosé, Saye et Lintaba.

Le village est difficilement accessible en saison pluvieuse.

La *Figure 2* présente la carte de localisation du site du barrage

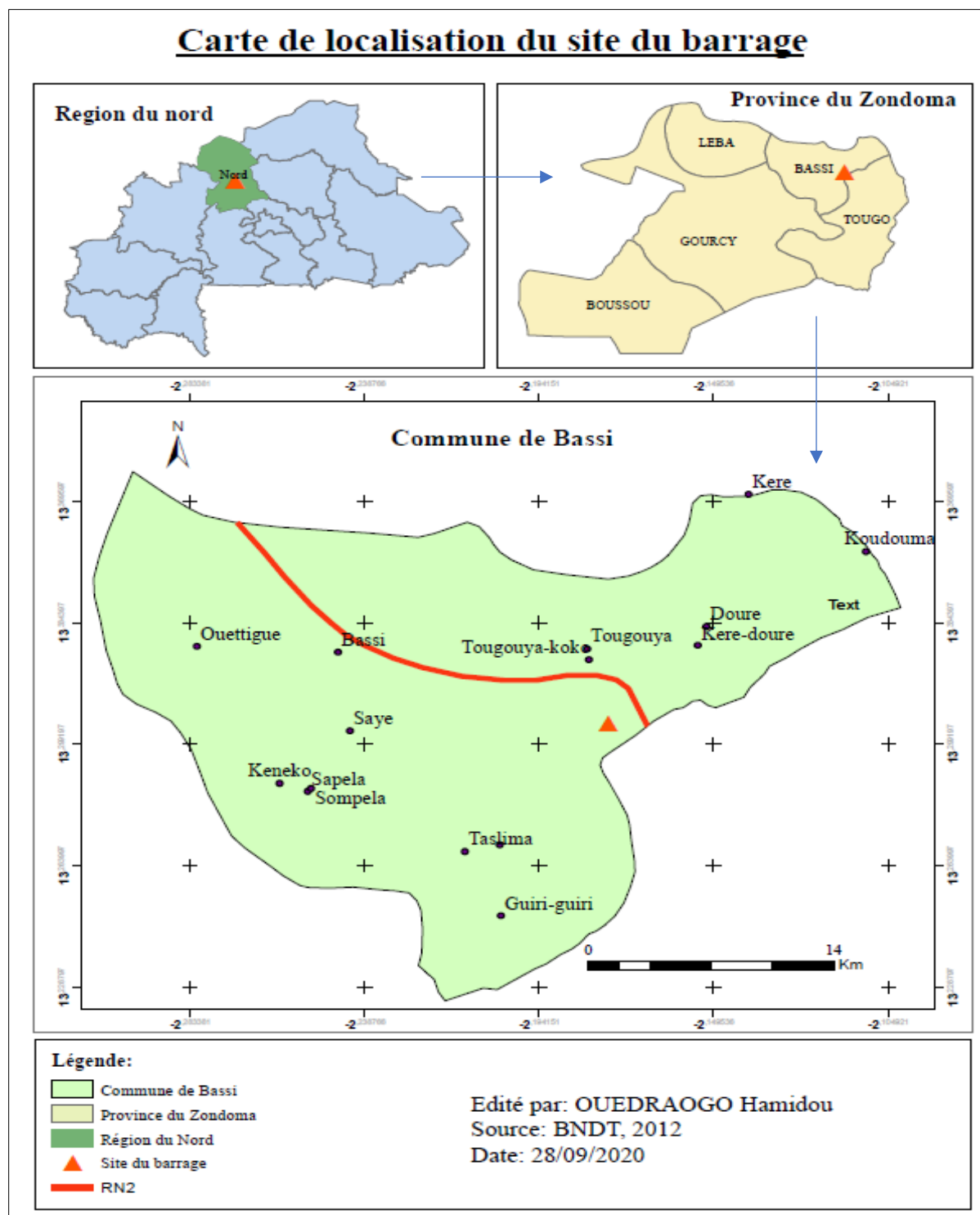


Figure 2: Carte de localisation du site du barrage

2.2.2 Milieu physique

2.2.2.1 Climat et végétation

Les quatre communes du bassin versant, à l'instar des communes de la région du Nord, sont sous l'emprise du climat soudano-sahélien compris entre les isohyètes 600 mm et 900 mm avec deux saisons bien tranchées qui sont :

- une saison sèche longue de 08 mois (d'octobre à mai). Elle est caractérisée par une période froide de novembre à février dominée par les vents de l'harmattan et une période chaude qui commence au mois de mars.
- une saison pluvieuse, courte, qui dure 04 mois (juin à septembre). Cette durée est variable d'une saison à l'autre. Elle est annoncée par la mousson, vent chaud et humide soufflant du Sud- Ouest au Nord- Est.

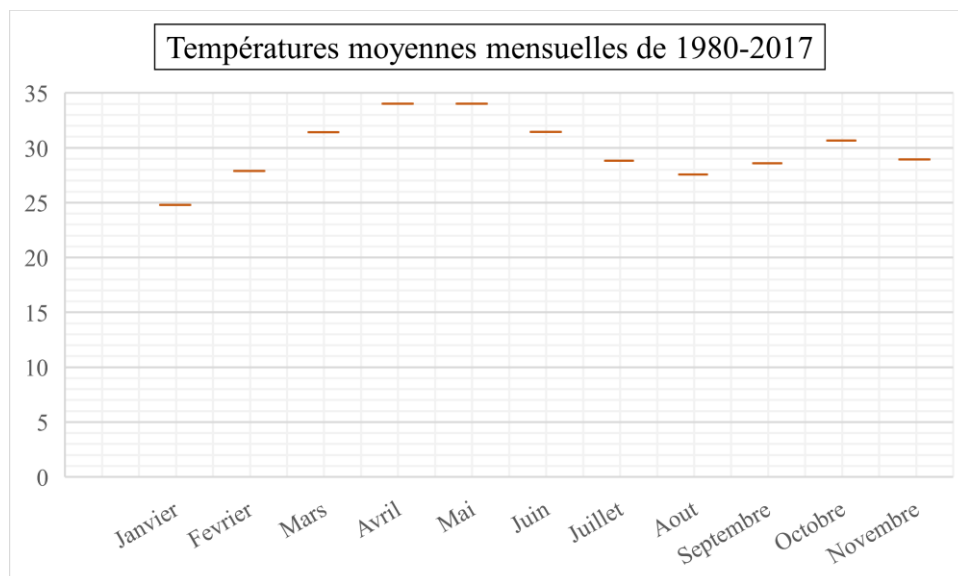
Les températures de la zone sont très variables et atteignent par moment (mois d'avril) 45°C.

La *Figure 3* présente l'évolution de la température moyenne mensuelle de la zone d'étude, dans la période allant de 1980 à 2017.

La végétation d'origine du bassin versant du barrage est de type savane arborée à arbustive. Cette végétation s'est dégradée du fait des variations climatiques et des actions anthropiques. Ainsi on trouve actuellement les formations végétales suivantes qui occupent l'espace :

- la steppe arbustive et herbeuse caractérisée par des formations herbeuses discontinues mêlées de plantes ligneuses dont : *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum*, *Guiera senegalensis*, *Acacia senegal*, *Cassia sieberiana*, *Pilostigma reticulatum*, *Diospyros mespiliformis*, *Ximenia americana*, *Lannea microcarpa*, *Vitellaria paradoxa* ;
- la steppe arborée caractérisée par la *Vitellaria paradoxa*, *Anogeissus leiocarpa*, *Mitragyna inermis*, *Bombax costatum* ;
- des vergers caractérisés par de très petites plantations d'arbres fruitiers. Il s'agit essentiellement de *Mangifera indica*.

La majeure partie du bassin versant est défrichée pour servir de champs. Il subsiste sur ces vastes étendues des espèces végétales jugées utiles et donc épargnées. Il s'agit principalement de : *Vitellaria paradoxa*, *Sclerocarya birrea*, *Lannea microcarpa*, *Bombax costatum*, *Parkia biglobosa*, *Faidherbia albida*, *Tamarindus indica* (AC3E, 2020a).



Source des données : ANAM

Figure 3: Températures moyennes mensuelles de la zone d'étude

2.2.2.2 Relief et hydrographie

Le bassin versant présente un relief assez monotone et une morphologie légèrement encaissée avec une faible pente dans le sens Ouest-Est

Les ressources en eau de surface du bassin versant sont constituées essentiellement de petites rivières temporaires qui s'assèchent deux à trois mois après les dernières pluies.

Le réseau hydrographique bien que dense n'est constitué que de petits cours d'eau du bassin du Nakambé. La réalisation du barrage de Tougouya Koko sera une grande opportunité pour les localités situées dans le bassin versant notamment les villages de Tougouya koko, Rondolga et Bassi (AC3E, 2020a).

La *Figure 4* présente la carte du bassin versant ainsi que le réseau hydrographique du bassin

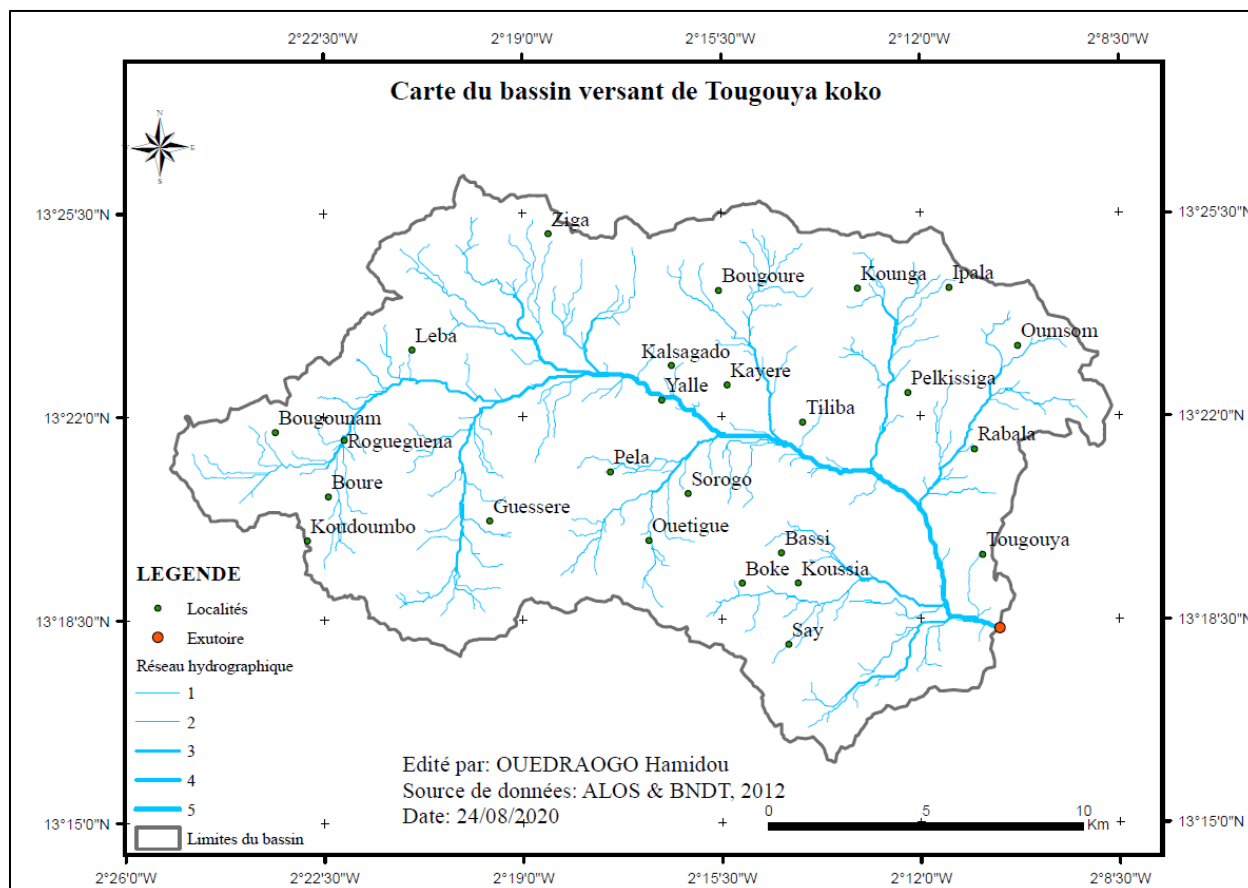


Figure 4: Carte du bassin versant du barrage

2.2.2.3 Géologie et sols

Les sols de la commune sont de types ferrugineux tropicaux lessivés à texture sablo-gravillonnaire, sableux et sablo-argileux. Ils présentent chacun des aptitudes et des caractéristiques spécifiques liées à leur nature. Selon Boulet (1968), ces types de sols sont pauvres en matière organique. Ils sont localisés généralement sur les glacis moyens, assez sensibles à l'érosion et ont en commun une fertilité chimique faible à moyenne. Cinq types de sols sont identifiés par les producteurs :

- les sols sablo-gravillonnaires (zinka) qui sont localisés en hautes altitudes et qui sont généralement sujets à l'érosion hydrique et éolienne. Ils sont néanmoins suffisamment riches et assez polyvalents. Ils présentent généralement un horizon d'altération supérieur à 20 cm et sont aptes aux activités agricoles sous réserves de pratiques conservatoires comme le zaï et les cordons pierreux végétalisés ;
- les sols sablo-argileux (biisgou) sont situés sur les pentes moyennes. Ils sont de structures relativement lâches et sont sujets à l'érosion hydrique et éolienne compte tenu de la pente. Ce sont des sols profonds à capacité de rétention relativement élevée. Ils sont moyennement riches. Cependant le ruissellement peut être tempéré par l'utilisation des cordons pierreux ;

- les sols argilo-sableux (boolé) sont des sols qui ne présentent pas de contraintes majeures. Ils sont profonds et riches d'apports alluviaux. Ils ont une capacité de rétention assez élevée comparativement aux deux précédents et sont localisés en bas de pente. Ce type de sols n'exige pas d'aménagement particulier compte tenu de sa topographie en basse pente ;
- les sols argileux (bagtenga) sont des sols caractérisés par les croûtes en battance. Leur exploitation nécessite un paillage préalable ;
- les sols hydromorphes (baogo) ou sols de bas-fonds. De façon générale, on observe une dégradation progressive des différents sols. Cette situation rend pratiquement impossible leur exploitation sans des aménagements de protection et de conservation des eaux et des sols et l'apport de matières minérales (AC3E, 2020b).

En outre, les sols se dégradent rapidement : cette dégradation se manifeste entre autres par la formation d'une croûte superficielle imperméable aux pluies, qui est attribué à la baisse tendancielle des teneurs en matière organique des sols (Billaz, 2012).

2.2.3 Situation démographique et socio-économique

Trente-quatre (34) villages administratifs répartis sur quatre communes se trouvent sur le bassin versant du barrage de Tougouya Koko. Selon le RGPH 2006, la population de ces 34 villages était estimée à 33 351 personnes. En considérant le taux d'accroissement annuel de chaque commune (obtenu de la même source), cette population en 2020 peut être estimée à 45 843 personnes.

Cette population exerce principalement des activités agro-pastorales. L'agriculture est essentiellement dominée par les cultures céréalières telles que le sorgho, le mil, le maïs et le riz.

L'élevage est la deuxième activité de production de cette population. Les principales espèces sont les bovins, les ovins, les caprins, les asins, les équins, les porcins et la volaille.

Le commerce bien que peu développé occupe le troisième rang des activités menées par la population. Cette activité porte sur une gamme variée de marchandises d'origine locale ou de provenance extérieure (AC3E, 2020b).

III MATERIELS ET METHODES

3.1 Logiciels

L'ensemble du matériel listé ci-dessous a été utilisé pour notre étude :

- Le pack MICROSOFT OFFICE 2016 (Excel, Word) pour le traitement de texte et les calculs ;
- Les logiciels GOOGLE EARTH PRO, GLOBAL MAPPER et ARCGIS pour la caractérisation du bassin versant ;
- Le logiciel HYFRANPLUS pour l'analyse fréquentielle des données pluviométriques ;
- Le logiciel CLIMWAT 2.0 for CROPWAT : pour la détermination des coefficients culturaux ;
- Le logiciel GEOSLOPE 2012 pour la vérification de la stabilité des talus ;
- Le Logiciel CYPE 2014 pour le dimensionnement du mur bajoyer ;
- ZOTERO 5.0.93 pour les citations d'auteurs ;
- Les logiciels COVADIS 2007 et AUTOCAD 2018 : pour les différents dessins ;

3.2 Méthodes

3.2.1 Etude topographique et géotechnique

Le levé topographique a été réalisé par le bureau d'études AC3E qui a mis à notre disposition, un fond topographique de la cuvette du barrage. A partir du fond topographique, les courbes de niveau ont été générées afin de caractériser la cuvette en termes de surface et volume, et permettre le choix de l'axe de la digue. Cet exercice a abouti à la réalisation de la courbe hauteur volume et à la production des différents profils, utilisés par la suite pour le dimensionnement des ouvrages et le dessin des plans d'ouvrages.

Les études géotechniques ont été également réalisées par le bureau AC3E. Cette étude nous a fourni les informations relatives à la qualité du matériau présent sur l'axe projeté, les différentes profondeurs qui conviennent pour la tranchée d'ancrage, et la disponibilité en qualité et en quantité du matériaux requis pour la construction de la digue et des ouvrages annexes.

3.2.2 Etude de la pluviométrie

Elle a été faite avec des données de pluies annuelles et de pluies maximales journalières de la station synoptique de Ouahigouya (sur la période de 1980 à 2017), fournies par l'Agence Nationale de la Météorologie du Burkina (ANAM). L'analyse des pluies a permis de situer notre zone d'étude dans le climat sahélien, sur la base de la classification définie par RODIER.

Le traitement a été effectué sur le logiciel Hyfran, selon la loi de GAUSS pour les pluies annuelles et la loi de GUMBEL pour les pluies maximales journalières.

3.2.3 Etude hydrologique

3.2.3.1 Caractérisation du bassin versant

Le bassin versant topographique en une section d'un cours d'eau se définit comme étant la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section appelée exutoire. Il est entièrement caractérisé par cet exutoire, à partir duquel ses limites peuvent être déterminées. Sur la base d'images téléchargées sur le site d'ALOS, un traitement est fait sur ArcGIS afin de déterminer les paramètres comme le périmètre, la superficie et la pente transversale et longitudinale du bassin versant.

Selon la taille du bassin versant quatre classes ont été définies par RODIER et présentées dans le *Tableau I*.

Tableau I: Classe du bassin versant en fonction de sa taille

Classe de bassin versant	Superficie (S) du bassin versant	
Classe 1	Très petits bassins versants	S < quelques ha
Classe 2	Petits bassins versants	2 < S < 40 km ²
Classe 3	Bassins versants moyen	40 < S < 1000 km ²
Classe 4	Grands bassins versant	S > 1000 km ²

Source : (FAO, 1996)

Evaluation des paramètres requis pour la suite des calculs

❖ L'indice de compacité de Gravelius

Appelé également coefficient de forme, il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie.

$$K_G = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{S}}$$

- P : Périmètre du bassin, en km
- S : Superficie du bassin, en km²

Si

- $K_G = 1$: Bassin versant circulaire
- $1 < K_G < 1,3$: Bassin versant compact
- $K_G > 1,3$: Bassin versant allongé.

❖ Pente longitudinale du cours d'eau

Elle a été calculée suivant la formule simplifiée de GRESILLON.

$$I_{(BV)} = \frac{26}{\sqrt{S}}$$

- $I_{(BV)}$: la pente longitudinale du bassin versant (m/km)
- S : la superficie du bassin versant (km²)

Le calcul de la pente longitudinale permet de classer le bassin versant suivant six classes (*Tableau II*) définies par l'Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM).

Tableau II: Classes de bassins en fonction de la pente

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

Source : (KARAMBIRI & NIANG, 2011)

❖ Longueur du rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin versant (FAO, 1996).

Sa longueur est donnée par :

$$L[\text{Km}] = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4}$$

- P : Périmètre du bassin, en km
- S : Superficie du bassin, en km

❖ Courbe hypsométrique

Dans un premier temps, les surfaces partielles sont déterminées pour des intervalles de 5m d'altitude sur ArcGIS. Les surfaces sont ensuite cumulées de l'amont vers l'aval du bassin. Enfin, nous estimons le pourcentage des différentes surfaces cumulées que nous représentons en fonction des différentes altitudes. La courbe hypsométrique permet de voir la pente du bassin versant de façon globale.

❖ Indice global de pente et l'indice de pente corrigé

C'est un indice caractérisant le relief du bassin et influant donc sur les débits de crues.

Les pentes transversales I_t ont été calculées en cinq (05) sections différentes et la moyenne des différents résultats est retenue comme pente transversale (I_t) du bassin versant. Cette dernière a été comparée à l'indice global de pente (I_g) pour s'assurer de la nécessité d'une éventuelle correction de l'indice global de pente suivant les formules :

$$I_g[m/km] = \frac{D}{L}$$

L : Longueur du rectangle équivalent, en km

D : $[H_{5\%} - H_{95\%}]$ de la courbe hypsométrique, en m

$n=2$ pour $L < 5km$

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

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

$n=5$ pour $L > 50km$

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

❖ Dénivelée spécifique et densité de drainage

La dénivelée spécifique permet la distinction des classes de relief du bassin versant et s'exprime par la relation :

$$Ds[m] = I_g * \sqrt{S}$$

- I_g : Indice global de pente en $\left[\frac{m}{km}\right]$
- S : Superficie du bassin, en $[km^2]$
- Ds : Dénivelée spécifique $[m]$

On distingue trois types de relief à savoir (Triboulet et al., 1996) :

- $D_s < 50 m$ Relief faible ;
- $50 m < D_s < 100 m$ Relief modéré ;
- $D_s > 100 m$ Relief fort

La densité de drainage est le rapport de la longueur totale du réseau hydrographique sur la superficie du bassin versant.

$$D_d = \frac{\text{Longueur du réseau hydrographique}}{S}$$

$$D_d : \text{Densité de drainage} \left[\frac{km}{km^2}\right]$$

❖ Classe d'infiltration du bassin versant

L'estimation de l'infiltrabilité globale représente un point particulièrement délicat pour l'estimation des crues, car un bassin, même de dimensions modestes, ne présente jamais des conditions édaphiques homogènes (FAO, 1996).

Pour ce faire, nous nous baserons sur la carte des sols pour identifier la classe d'infiltrabilité qui sied pour notre bassin versant ; suivant la classification de RODIER et AUVRAY ci-dessous :

- P1 (TI) : bassins rigoureusement imperméables, entièrement rocheux ou argileux ;
- (PI) : bassins naturels particulièrement imperméables ;
- P2 (I) : bassins assez imperméables ou bassins homogènes presque imperméables ;
- P3 (RI) : bassins assez imperméables ou bassins homogènes assez peu perméables ;
- P4 (P) : bassins assez perméables ; sols sableux sans pellicule ou avec un couvert végétal ;
- P5 (TP) : bassins très perméables, sables éoliens, sables sans pellicules et sans végétation.

3.2.3.2 Prédétermination des crues

A défaut de données fournies par le jaugeage du cours d'eau, la détermination des débits de crue peut être faite suivant la méthode ORSTOM de RODIER et AUVRAY et celle dite de régressions linéaires de PECH et CHABBI ou méthode CIEH, décrites dans le manuel de détermination des crues et apports de la FAO.

a) Méthode ORSTOM

❖ Débit de pointe de ruissellement superficiel de la crue décennale Q_{r10}

Le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation suivante :

$$Q_{r10} = \frac{A * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * S}{Tb_{10}}$$

- **A** Coefficient d'abattement
- **P₁₀** Pluie journalière maximale de fréquence décennale (mm)
- **K_{r10}** Coefficient de ruissellement pour une crue décennale
- **α₁₀** Coefficient de pointe correspondant à la crue décennale
- **S** Superficie du bassin versant (km²)
- **Tb₁₀** Temps de base (min)

• Détermination des paramètres

- Détermination du coefficient d'abattement A

Il se détermine par la relation :

$$A = 1 - \left[\frac{(161 - 0,042 * P_{an})}{1000} \right] * \log S$$

- **S** Superficie en Km²

- P_{an} Hauteur moyenne de précipitation annuelle en (mm)

- **Estimation de la hauteur de l'averse ponctuelle de fréquence décennale P_{10}**

La hauteur d'averse décennale P_{10} est assimilée à la pluie journalière de même fréquence. Elle est déterminée à partir d'ajustements statistiques de GUMBEL effectués sur les observations de la station de référence à savoir celle de Ouahigouya.

- **Estimation du coefficient de ruissellement décennal Kr_{10}**

Pour une pluie maximale journalière de fréquence décennale P_{10} différente de 70 et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissellement Kr_{10} est faite par interpolation linéaire entre les valeurs Kr_{70} et Kr_{100} .

$$Kr_{70} \text{ ou } Kr_{100} = S * \frac{a}{(s + b)} + c \quad \text{S la superficie en Km}^2$$

Les variables a, b et c ont été lues sur des tableaux en fonction de la zone climatique, la taille du Bassin versant, la classe d'infiltrabilité.

- **Le coefficient de pointe α_{10}**

Le coefficient de pointe décennal α_{10} est pris égal à 2,6.

- **Le temps de base Tb_{10}**

Le temps de base est la durée qui s'écoule entre le début de la montée du niveau d'eau et la fin du ruissellement de la crue. La valeur du temps de base est obtenue par interpolation linéaire entre les valeurs de l'indice de pente (3 et 7) encadrant l'indice de pente du bassin versant étudié.

$$Tb_{10} = a * S^n + b \quad \begin{array}{l} a, b \text{ et } n \text{ sont fonction de l'indice global de pente et de la} \\ \text{superficie du bassin versant} \end{array}$$

❖ **Calcul du débit de pointe décennal Q_{10}**

$$Q_{10}(m^3/s) = m * Qr_{10}$$

- ✓ m : coefficient de majoration qui est fonction de classe d'infiltrabilité du bassin et de la zone climatique
- ✓ Qr_{10} : le débit de ruissellement décennal.

La valeur de m est 1,03 pour un bassin de classe d'infiltrabilité I et 1,06 pour la classe d'infiltrabilité P. Notre bassin est de classe d'infiltrabilité RI et nous prendrons la valeur moyenne avec pour hypothèse que les deux classes sont également représentées.

b) Méthode CIEH

La crue décennale est donnée par les équations de la forme suivante :

$$Q_{10} = a * S^s * P_{an}^p * I_g^i * Kr_{10}^k * Dd^d$$

- S : Superficie du Bassin Versant (Km²)
- P_{an} Hauteur moyenne de précipitation annuelle (mm)
- I_g Indice global de pente (m/Km)
- Kr_{10} Coefficient de ruissellement pour une crue décennale
- Dd Densité de drainage

Les coefficients a, s, p, i, k et d sont à déterminer en fonction de la pluviométrie, des coordonnées géographiques (longitude et latitude) et du découpage par pays ou groupes de pays. Pour le choix des équations, nous retenons 39 et 40 qui sont propres au Burkina Faso. Les coefficients utilisés pour le calcul sont inscrits dans le *Tableau III*

Tableau III: Coefficients des équations de la méthode CIEH

Equation N°	a	S	I_g	Kr10
39	0,41	0,425		0,923
40	0,254	0,462	0,101	0,976

Source : (FAO, 1996)

3.2.3.3 L'hydrogramme de crue

L'hydrogramme de crue est un graphique sur lequel on peut lire la variation du débit en fonction du temps pendant une crue.

Pour intégrer tous les paramètres constitutifs de l'hydrogramme, la méthode CIEH recommande de le bâtir en 3 tronçons linéaires basés sur les paramètres ci-dessous.

- ❖ Temps de base T_b
- ❖ Temps de montée T_m
- ❖ Calcul du débit de discontinuité (Q_d) : C'est le débit à partir duquel la pente de la décrue change.

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

3.2.3.4 Calcul de la crue projet

❖ Choix de la période de retour

En vue de sécuriser l'ouvrage à travers le dimensionnement, DEGOUTTE recommande le choix de la période de retour de la crue de projet suivant les situations ci-dessous (*Tableau IV*) :

$H[m]$ la hauteur d'eau moyenne de la retenue et V le volume de la retenue [hm^3]

Tableau IV: Formules de calcul de la période de retour

$H^2\sqrt{V}$	< 5	5 à 30	30 à 100	100 à 700	> 700
Période de retour en années (crue)	100 (centennale)	500 (cinquennale)	1000 (millennale)	5000 (cinquennale)	10000 (décennale)

Source : (KARAMBIRI & GUEYE, 2007)

❖ Passage de la crue décennale à la crue centennale (crue du projet) par la méthode Gradex

Le principe sur lequel se fonde la méthode consiste à supposer qu'au-delà d'une certaine période de retour, tout ce qui tombe ruisselle. La période de 10 ans, correspondant à la précipitation ayant engendrée la crue décennale, est utilisée comme seuil. Ceci revient à dire que le volume ruisselé d'une crue de fréquence plus rare que la crue décennale peut être obtenu par la sommation des deux termes suivants :

- le volume de la crue décennale ;
- le volume correspondant au supplément de précipitation entre l'averse décennale et l'averse centennale.

Le coefficient C est fonction des précipitations de même temps de retour pour le temps de base caractéristique du bassin versant (FAO, 1996).

On arrive donc à l'expression suivante :

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

Avec

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} * \frac{\left(\frac{Tb_{10}}{24}\right)^{0.12}}{Kr_{10}}$$

Q_{10} Débit de crue décennale (m^3/s)
 Q_{100} Débit de crue centennale (m^3/s)
 C Coefficient de passage de Q_{10} à Q_{100}
 P_{10} Pluie Journalière maximale de fréquence décennale humide
 P_{100} Pluie Journalière maximale de fréquence centennale humide
 Tb est le temps de base en heures
 Kr_{10} Coefficient de ruissèlement de la crue décennal en (fraction)

3.2.3.5 Calcul de la crue de rupture

Selon la CIGB (Commission Internationale des Grands Barrages), la crue de rupture d'un barrage peut être approchée par la relation suivante.

$$Q_{\text{Rupture}} = 2 * L_{\text{dev}} * [R + 0,2]^{1,5} + 0,15 L_{\text{digue}}$$

L_{dev} : Longueur déversoir [m]
 L_{digue} : Longueur digue sans déversoir [m]
 R : Revanche totale [m]

3.2.3.6 Evaluation des apports liquides du bassin versant

Le manque de relevés hydrométriques rend difficile et très aléatoire l'estimation de l'écoulement annuel d'un bassin-versant à un exutoire considéré. Le but de cette estimation est de s'assurer qu'en toute saison, les apports du bassin versant sont susceptibles de remplir la cuvette du barrage. Ces apports seront évalués à l'aide des méthodes de RODIER et de COUTAGNE.

➤ Méthode de RODIER

Cette méthode repose sur un ensemble de bassins versant étudiés par RODIER, offrant les éléments nécessaires à l'évaluation des écoulements. Son application passe donc par l'identification d'un bassin étudié présentant des caractéristiques physiques et climatiques assez proches de ceux de notre bassin versant.

➤ Méthode de COUTAGNE

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

$$P(m) \in \left[\frac{1}{8\lambda}; \frac{1}{2\lambda} \right] \text{ et } D(m) = P(m) - \lambda P(m)^2$$

$$Ve = 10^3 * Kei * S * Pi$$

Avec

$$Ke = \frac{Le}{P} \text{ et } Kei = \alpha * Ke$$

$$Le = P - D$$

- Ve = Volume écoulé (m^3)
- D : Déficit hydrique (m)
- $\bar{T}$: Température moyenne annuelle ($^{\circ}C$)
- λ : Coefficient de Coutagne
- S : Superficie du bassin versant (Km^2)
- Kei : Coefficient d'écoulement en année sèche.
- P : Pluviométrie de la période considérée (mm)
- Le : Lambe d'eau ruisselée au cours de la période.
- Pi : Quantile de la pluie en année sèche, issue de l'analyse fréquentielle

Les relations suivantes utilisées par l'ONBAH permettent l'estimation des coefficients d'écoulement en année quinquennale et décennale sèche.

Ke Coefficient d'écoulement en année moyenne

$Ke_{10} = 0,5 \times Ke$ en année décennale sèche

$Ke_5 = 0,7 \times Ke$ en année quinquennale sèche

3.2.4 Etude de la retenue

3.2.4.1 Evaluation des pertes

➤ Pertes par dépôts solides

Un barrage, quel qu'il soit, joue un rôle de piège à sédiments. Il ne stocke qu'une partie des matériaux transportés en suspension mais il est susceptible de stocker la totalité des matériaux transportés par charriage (LAMACHERE, 1998).

Il existe plusieurs méthodes et formules pour l'estimation du niveau d'envasement d'un barrage. Cependant nous retiendrons 03 méthodes de calcul à savoir respectivement celles de KARAMBIRI, de GRESILLON et de GOTTSCHALK.

Nous avons alors les formules suivantes présentées dans le *Tableau V*

Tableau V: Formules de calcul des apports solides

Auteurs	Formules
KARAMBIRI	$D_1 = 137 * \left(\frac{P}{700}\right)^{-2,2} * S^{-0,05} * [0,25 + 1,13 * (h + r)]$
GRESILLON	$D_2 = 700 * \left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2}$
GOTTSCHALK	$D_3 = 260 * S^{-0,1}$
• $V = D \times S$ • P : Pluie moyenne annuelle (mm), • S : Superficie du bassin versant (km²), • h : paramètre anthropique pour un bassin versant comportant des petites villes, des villages moyens ou situés à proximité de ceux-ci, probabilité d'extension moyenne des villes ou village sur le BV • r : paramètre morphologique pour un relief peu accidenté, accusé. • D : dégradation spécifique annuelle (m³/km²/an) ; • V : Le volume annuel des apports en sédiment (m³).	

Source : (KARAMBIRI & NIANG, 2011)

➤ Pertes par infiltration et évaporation

A défaut de données d'une étude in-situ, des valeurs usuelles sont utilisées pour l'estimation des pertes par infiltration.

Habituellement dans la littérature, on s'accorde sur des valeurs d'infiltration de 1mm/j à 3mm/j en moyenne (COMPAORE, 1996).

L'infiltration atteint sa valeur maximale dans les premières années de mise en eau du barrage. Cependant, son effet s'amenuise au fur et mesure que les dépôts solides tapissent le fond de la cuvette. Dans le cadre de notre étude nous considérerons une infiltration moyenne de **3mm /j** dans les 10 premières années de vie de l'ouvrage, et **1,5mm/j** au-delà de 10 ans.

Les données d'évaporation utilisées sont celles de la station synoptique de Ouahigouya (1980-2017). La conversion de l'évaporation bac classe A en évaporation au niveau de la retenue est faite suivant la formule établie par Bernard POUYAUD (1986).

$$E_{Lac} \text{ mm/j} = 1,664 * (E_{Bac})^{0,602}$$

3.2.4.2 Evaluation des besoins agricoles

L'un des objectifs du barrage est de satisfaire les besoins en eau d'irrigation d'un futur périmètre irrigué, aménageable en aval du barrage. La quantité d'eau pluviale retenue dans la zone racinaire est nommée pluie efficace (Pe) et doit être déduite des besoins totaux calculés en eau d'irrigation.

On peut estimer Pe approximativement de la manière suivante :

$$Pe = 0,8 P \text{ si } P > 75\text{mm/mois} ;$$

$$Pe = 0,6 P \text{ si } P < 75 \text{ mm/mois (PHOCAIDES, 2008).}$$

Trois spéculations seront étudiées à savoir l'oignon, la tomate et l'aubergine. La plus contraignante sera considérée pour l'estimation des besoins.

Les différents besoins sont obtenus par les relations suivantes :

$$ETM = ETP * KC$$

$$BN = ETM - Pe$$

$$BB = BN/e$$

- ETM : Evapotranspiration Maximale
- ETP : Evapotranspiration Potentielle
- Kc : coefficient cultural
- e : Efficience du réseau d'irrigation
- BN : Besoin Net
- BB : Besoins Brute
- P : Pluie journalière de période de retour 5 ans
- Pe : Pluie efficace

3.2.4.3 Evaluations des besoins pastoraux

Le calcul des besoins pastoraux s'est basé sur l'effectif du cheptel issu de l'étude socioéconomique. Sur la base du taux d'accroissement obtenu à partir des données statistiques une projection a été faite sur une période de 50 ans, et à cet effectif on applique différentes consommations spécifiques pour obtenir le besoin en eau à l'horizon du projet.

Les besoins sont calculés selon la formule suivante :

$$B_{\text{past}} = \text{Population}_{\text{espèce}} (1 + \beta)^n * \text{consommation spécifique}_{\text{espèce}}$$

β : Taux d'accroissement du cheptel

3.2.4.4 Evaluation du volume de la retenue et simulation de son utilisation

Une fois les besoins et pertes estimés, nous procédons à des simulations afin de déterminer la côte du déversoir qui fournirait le volume d'eau susceptible de satisfaire ces besoins et pertes. Il est impératif de s'assurer que le volume obtenu soit inférieur ou égal aux apports liquides considérés pour le remplissage de la retenue.

Cette opération abouti à la courbe d'exploitation de la retenue.

3.2.5 Dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes

3.2.5.1 Dimensionnement de la digue

a) Hauteur de la digue

La hauteur de la digue (H_d) a été déterminée par sommation de la hauteur au plan d'eau normale (PEN) de la retenue (H_r), la charge d'eau au-dessus du déversoir (h) et la revanche libre (R).

$$H_d = H_r + h + R$$

- H_d : Hauteur de la digue
- H_r : Hauteur de la retenue
- R : Revanche libre
- h : Lamme d'eau déversant

b) Revanche libre

La revanche libre (R) est la différence de niveau entre les plus hautes eaux (PHE) et la crête du barrage. Son calcul tient compte de la hauteur et la vitesse de propagation des vagues, la vitesse du vent et du fetch (longueur du plan d'eau exposée au vent). Les formules empiriques ci-dessous permettent l'évaluation de la revanche.(LO, 2017)

➤ Revanche libre

- **Formule de MALLET ET PACQUANT**

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

- ✓ A : coefficient de sécurité pris égal à (0,75) ;
- ✓ v_v : la vitesse des vagues (m/s);
- ✓ h_v : la hauteur des vagues (m) ;
- ✓ g : l'accélération de la pesanteur (m^2/s) ;
- ✓ R : la revanche libre (m).

- **Formule de GALLIARD**

$$R = 0,75 \times h_v + \frac{v_v^2}{2g}$$

✓ h_v : la hauteur des vagues (m)

➤ **Hauteur des vagues**

- **Formule de STEVENSON**

$$h_v = 0,75 + 0,34 \sqrt{f} - 0,36 \sqrt[4]{f}, \text{ si } f < 18 \text{ km}$$

✓ h_v : la hauteur des vagues en mètre

$$h_v = 0,34 \sqrt{f}, \quad \text{si } f \geq 18 \text{ km}$$

✓ f : le Fetch en kilomètre

- **Formule de MALLET ET PACQUANT.**

$$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \sqrt{f}; \quad \text{avec}$$

✓ h_v : la hauteur des vagues en mètre

✓ f : le Fetch en kilomètre

- **Formule de MOLITOR**

$$h_v = 0,76 + 0,032 \sqrt{Uf} - 0,26 \sqrt{f},$$

si $f < 30 \text{ km}$

✓ h_v : la hauteur des vagues en mètre

✓ f : le Fetch en kilomètre

$$h_v = 0,032 \sqrt{Uf}, \quad \text{si } f \geq 30 \text{ km}$$

✓ U : Vitesse du vent en km/h

➤ **Vitesse de propagation des vagues**

- **Formule de MALLET ET PACQUANT**

$$v_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} h_v \quad \text{avec}$$

✓ h_v : la hauteur des vagues en mètre

✓ v_v : la des vagues en m/s

- **Formule de GAILLARD**

$$v_v = \frac{3}{2} + 2 \times h_v \quad \text{avec}$$

✓ h_v : la hauteur des vagues en mètre

✓ v_v : la vitesse des vagues en m/s

c) Largeur en crête de la digue

Elle est donnée par les relations suivantes.

$$\text{KNAPPEN: } L_c = 1,65 \sqrt{H_d}$$

H_d : Hauteur de la digue en mètre

$$\text{PREECE: } L_c = 1,1 \sqrt{H_d} + 1$$

✓ L_c : Largeur en crête de la digue en mètre

d)Pentes des talus

Le choix des pentes de talus assurant la stabilité du massif est fonction du matériau utilisé pour le remblai, et la hauteur de l'ouvrage.

Le *Tableau VI* propose des talus stables pour des hauteurs de digue allant jusqu'à 20 m, pour différents types de matériau utilisés pour le remblai.

Tableau VI: Fruit indicatif des talus des barrages stables

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

Source : (LO, 2017)

En se basant sur les méthodes de FELLENIUS et de BISHOP, l'étude de stabilité des pentes sera réalisée à l'aide du logiciel Geo-slope.

e) Protection des talus

Pour la protection des talus des barrages, les perrés secs et maçonnés seront utilisés et les épaisseurs calculées à l'aide de la formule suivante :

$$e = 1,5 \cdot D_{50}$$

D_{50} : fonction de la hauteur des vagues (m)

e : épaisseur de protection (m)

f) Infiltration dans la digue

Bien que le choix des matériaux de construction ait été fait de manière à limiter au maximum les débits d'infiltration, il est impossible d'empêcher les infiltrations à travers la digue. Il convient donc de mettre en place un dispositif de drainage afin d'éviter les résurgences d'eaux en aval.

La ligne phréatique, est nécessaire pour estimer le débit de fuite à travers le barrage. Le tracé de cette ligne phréatique s'effectue à partir du cas théorique étudié par KOZENY.

Les formules du *Tableau VII* permettent de déterminer les dimensions du drain pour l'évacuation du débit de fuite.

La *Figure 5* présente la parabole définie par KOZENY en fonction de la géométrie de l'ouvrage

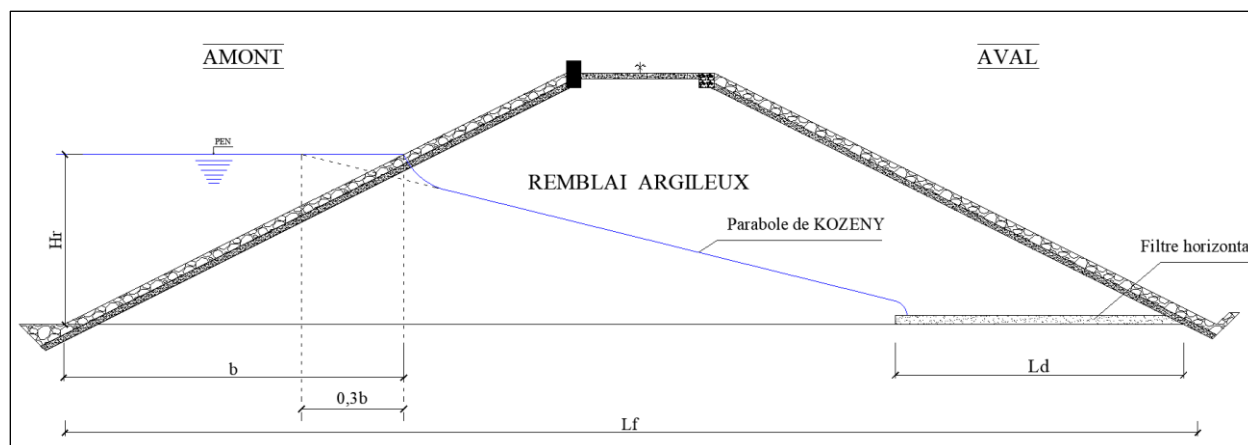


Figure 5: Parabole de KOZENY

Tableau VII: Formules de calcul du débit de fuite et de l'épaisseur du filtre

Désignation	Paramètres	Formules
Paramètre d (m)	d	$d = (l_f - l_d) - 0.7b$
Paramètre b (m)	b	$b = H_r / \tan \alpha$
Hauteur du drain y_0 (m)	y_0	$\sqrt{(H_r^2 + d^2)} - d$
Le débit à évacuer par le drain : (m ³ /s/ml)	q	$q = k_r * y_0$
Longueur du drain (m)	l_d	$l_d = l_f / 4$
Epaisseur du drain	e_{drain}	$e_{\text{drain}} = 2 * (q * l_d / k_d)^{0,5}$

Source : (LO, 2017)

3.2.5.2 Murs bajoyers

Les murs bajoyers sont placés sur chaque rive aux extrémités du déversoir. Ils sont construits en béton armé et assurent la transition entre la digue et ce dernier. Pour leur prédimensionnement et le calcul du ferrailage, ils seront assimilés à des murs de soutènement. Une vérification de la stabilité faite avec le logiciel CYPE permettra de confirmer les dimensions retenues pour les murs.

3.2.5.3 Dimensionnement du déversoir

a) Choix du type et position du déversoir

Le choix de la position du déversoir est fait de sorte à permettre une restitution facile des eaux de déversement dans le lit naturel du cours d'eau. Le choix de la position passe par une bonne analyse du fond topographique. De plus, la position du déversoir influence également le coût de l'ouvrage, et ce facteur doit également être pris en compte.

b) Effet de Laminage

L'étude du laminage consiste à déterminer la longueur optimale de l'évacuateur de crues pour une côte maximale atteinte par le plan d'eau pendant la crue. Tenir compte de l'effet de laminage permet de réduire la longueur du déversoir sans augmenter le risque de submersion du barrage. Nous utiliserons la méthode de laminage passant par le calcul du coefficient x_0 (ou méthode EIER-CIEH) afin d'optimiser la longueur du déversoir.

La procédure de calcul est la suivante : (DURAND et al., 1998)

- Calculer L_1 sans tenir compte du laminage par la relation $Q_{c_{max}} = m * L_1 * \sqrt{2g} * h^{3/2}$
- Calculer X_{01} avec la formule $X_{01} = \frac{m^2 g L_1^2 Q_{c_{max}} t m^3}{S^3}$ et $\log_{10} X_{01}$
- Lire ensuite β_1 sur l'abaque et calculer $Q_{e_{max}} = \beta_1 * Q_{c_{max}}$
- Calculer L_2 avec $\beta_1 * Q_{c_{max}} = m * L_2 * \sqrt{2g} * h^{3/2}$
- Recommencer le calcul avec L_2 de $X_{02} = \frac{m^2 g L_2^2 Q_{c_{max}} t m^3}{S^3}$
- Calculer $Q_{e_{max}} = \beta_2 * Q_{c_{max}}$ et $L_3 = \beta_2 Q_{c_{max}} = m * L_3 * \sqrt{2g} * h^{3/2}$

Par une suite d'itérations successives nous aboutissons à une valeur convergente de L

c) Stabilité du déversoir

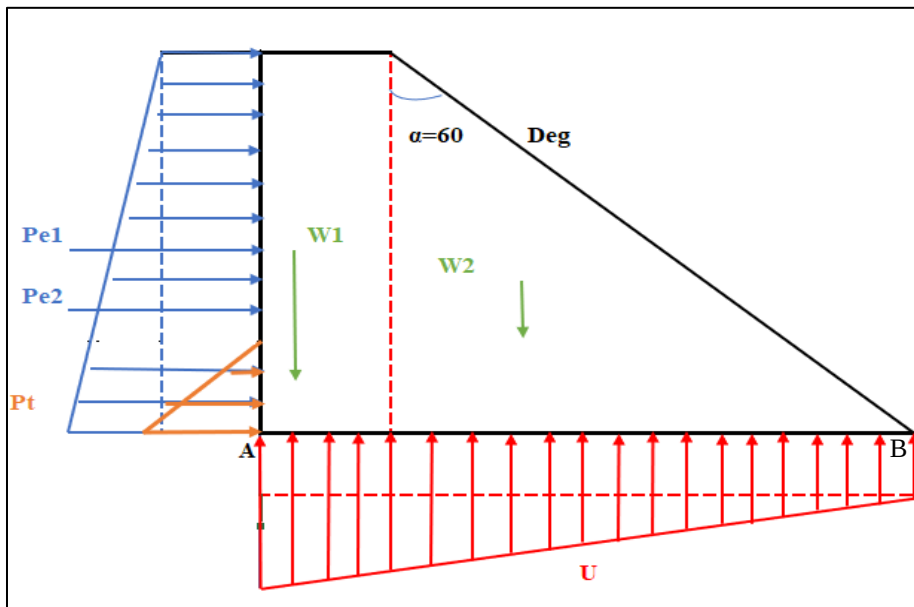


Figure 6: Illustration des différentes sollicitations du déversoir

La vérification de la stabilité du déversoir consiste à la vérification des conditions suivantes :

➤ **Stabilité externe**

- Stabilité au non glissement

$$F_g = \frac{(W - U) \times \tan \varphi}{P_e + P_t} \geq 1,2$$
 - Stabilité au non renversement

$$F_R = \frac{\sum M(W - U)}{\sum M(P_e + P_t)} \geq 1,5$$
- ✓ φ : Angle de frottement des sédiments
 - ✓ W : Poids propre du déversoir
 - ✓ U : Sous pression (pression hydrostatique interne)
 - ✓ P_e : Poussée hydrostatique externe
 - ✓ P_t : Poussée des terres (sédiments déposés)
 - ✓ F_g et F_R : respectivement facteur de sécurité au non glissement et au non renversement.

➤ **Stabilité interne**

- Condition de non fissuration

$$|e| \leq \frac{b_2}{6}$$
 - Condition de non rupture

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{lim, \text{béton}}$$
- ✓ e : excentricité par rapport à B
 - ✓ b_2 : largeur en crête du déversoir
 - ✓ σ_{max} et $\sigma_{lim, \text{béton}}$: respectivement la contrainte d'application au sol et celle admissible du béton

3.2.5.4 Dimensionnement du bassin de dissipation

Le bassin de dissipation a pour rôle de dissiper l'énergie de l'eau qui déverse et d'éviter les érosions régressives susceptibles d'entraîner un basculement du déversoir. Il est dimensionné de sorte à contenir le ressaut hydraulique qui se forme lors du déversement.

$$Q = K_s \frac{(y(b + my_n))^{5/3}}{(b + 2my_n)^{2/3}} \sqrt{I} \quad Q \text{ (m}^3/\text{s) débit évacué par le déversoir}$$

La profondeur normale y_n se déduit de la formule de Manning Strickler.

➤ **Choix du type de bassin de dissipation et ses caractéristiques.**

Le type de bassin a été choisi en fonction du nombre de Froude (F) et de la vitesse de l'eau à l'entrée du bassin v_1 . Nous procéderons par la résolution d'un système d'équations issues de la relation de BERNOULLI pour déterminer le tirant d'eau y_1 et la vitesse v_1 à l'entrée du ressaut. Soit le système d'équation de la vitesse et du tirant d'eau ci-dessous. (KARAMBIRI & GUEYE, 2007)

$$\begin{cases} V = \sqrt{2g \left[0.9 \left(H + h + \frac{V_0^2}{2g} \right) - Y_1 \right]} \\ Y_1 = \frac{Q}{l \times V_1} \end{cases}$$

- ✓ l : longueur du seuil déversant (m) ;
- ✓ Q : le débit laminé (m³/s) ;
- ✓ q : débit spécifique sur seuil (m³/s/ml) ;
- ✓ h : la lame d'eau sur le seuil (m) ;
- ✓ H : hauteur libre du déversoir (m) ;
- ✓ V_0 : la vitesse de l'eau sur le seuil (m/s) ;

$$F = \frac{V_1}{\sqrt{gY_1}}$$

- ✓ y_1 : le tirant d'eau à l'entrée du réseau (m) ;
- ✓ V_1 : la vitesse à l'entrée du réseau (m/s) ;
- ✓ F : le nombre de Froude.

Les dimensions des éléments constitutifs du bassin de dissipation (blocs de chute, blocs chicanes, seuil terminal) seront déterminées à partir d'abaques.

➤ Protection aval du bassin

Le bassin ne permet en fait la dissipation que d'environ 75 % de l'énergie de l'eau. Il est donc nécessaire de revêtir l'aval avec des enrochements et/ou des gabions sur une certaine distance.

Pour les sols argileux, la vitesse de début d'entraînement V_e varie de 0,8 à 1,2 m/s selon la cohérence. (DURAND et al., 1998)

En ce qui concerne cette étude nous prendrons $V_e = 1 \text{ m/s}$

- Diamètre minimum des enrochements : cette valeur lue sur un abaque est fonction de V_e
- Epaisseur de la couche d'enrochement : $e_{\text{enrochement}} = 3 * D_{\text{enrochement}}$
- Longueur de l'enrochement : $L_{\text{Protection}} \geq 2 * \text{Longueur du bassin de dissipation}$

3.2.5.5 Ouvrage de prise

L'ouvrage de prise est mis en place pour disponibiliser l'eau en aval du barrage. Pour notre projet, il est dimensionné de sorte à délivrer le débit requis pour l'irrigation du périmètre aménagé. Il est composé d'une conduite en fonte enrobée d'un béton armé, reliant une tour de prise en amont et un bac disposé en aval.

La presque totalité des aménagements gravitaires en Aval des barrages au Burkina Faso, avec le calendrier cultural maraichage de saison sèche/riz de saison hivernale ont été réalisés avec un $q_e = 3 \text{ l/s/ha}$. (KEITA, 2019)

Nous partirons donc de l'hypothèse d'un débit d'équipement égal à **3,50 l/s** pour le calcul de la section de la conduite.

$$Q = CS\sqrt{2gh}, \quad S = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Avec}$$

- Q : débit fictif (m^3/s)
- C : Coefficient de contraction
- h : charge de l'eau au-dessus de la prise (m)
- S : section de la conduite (m^2)
- g : accélération de la pesanteur (ms^{-2})
- D : diamètre de la conduite (m)

3.2.5.6 Diguettes de protection

Elles ont pour fonction de canaliser les eaux déversant du déversoir le plus loin possible afin d'empêcher leur éventuel retour au pied de la digue. Elles sont raccordées au mur bajoyer et leurs hauteurs sont déterminées de sorte à contenir le tirant engendré par l'écoulement.

3.2.5.7 Dispositif de suivi et de protection du barrage

Une échelle limnimétrique sera placée dans la retenue pour le suivi des variations du niveau d'eau. Elle permet d'améliorer la gestion de la retenue par une connaissance continue des volumes d'eaux disponibles.

Des bornes seront disposées le long de la limite des plus hautes eaux avec un espacement de 100m. Ces bornes seront de forme parallélogrammiques, avec un ancrage de 0,50 m et 1,00 m hors du sol.

3.2.6 Etude financière

3.2.6.1 Avant métré des ouvrages

L'avant métré désigne la quantification des éléments d'un ouvrage à réaliser. Il est effectué pour l'évaluation du coût du projet.

3.2.6.2 Coût du projet

L'estimation du coût en hors taxe a été faite sur la base du document de l'Autorité de Régulation de la Commande Publique (ARCOP) portant sur la mercuriale des prix unitaires (ville de Ouahigouya et applicable dans toute la région du Nord), dans la section « Construction de petits barrages ».

3.2.7 Impact environnemental et social

La construction d'ouvrages tels que les barrages se fait toujours avec une interaction non négligeable avec les milieux naturel et humain. Leur construction modifie profondément l'environnement et change bon nombre des habitudes de vie des riverains.

Le Burkina Faso dispose de plusieurs politiques en matière de l'environnement et du développement durable de même que d'instruments juridiques et réglementaires. Il a en outre souscrit à des accords et conventions sous régionaux et internationaux en matière de protection de l'environnement, de lutte contre la désertification, de gestion des espèces et des écosystèmes d'intérêt mondial, de lutte contre les pollutions et nuisances de même que dans le domaine des changements climatiques. La réalisation du barrage de Tougouya Koko devra se faire en adéquation avec ces politiques et stratégies (AC3E, 2020a).

La gestion des impacts environnementaux et sociaux est régie par le décret N°1187 du 22 octobre 2015 qui à son article 4 classe les travaux, ouvrages, aménagements et activités susceptibles d'avoir des impacts significatifs directs ou indirects sur l'environnement en 03 catégories :

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

Suivant les dispositions de ce décret, les travaux projetés sont classés dans la catégorie « B » des projets soumis à la réalisation d'une Notice d'Impact Environnemental et Social (NIES)

La mise en œuvre des mesures d'atténuation, de compensation ou de bonification, consiste à prioriser les actions suivant la démarche ci-après :

- Eliminer ou éviter les impacts négatifs ;
- Réduire les impacts négatifs
- Créer d'autres impacts bénéfiques pour contrebalancer en tout ou partie les effets négatifs, ou mettre en valeur certains aspects du milieu (ADEOSSI, 2020).

IV RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 Etude topographique et géotechnique

L'exploitation du fond topographique nous a permis de réaliser la courbe hauteur volume et hauteur surface de la cuvette.

Nous constatons une faible évolution du volume depuis le fond jusqu'à la cote 310,00 m. Au-delà de cette cote, le volume de cuvette double pratiquement chaque 0,50 m jusqu'à la cote 311,50 m.

Les *Figure 7* et *Figure 8* présentent respectivement les courbes hauteur surface et hauteur volume.



Figure 7: Courbe hauteur-surface du barrage

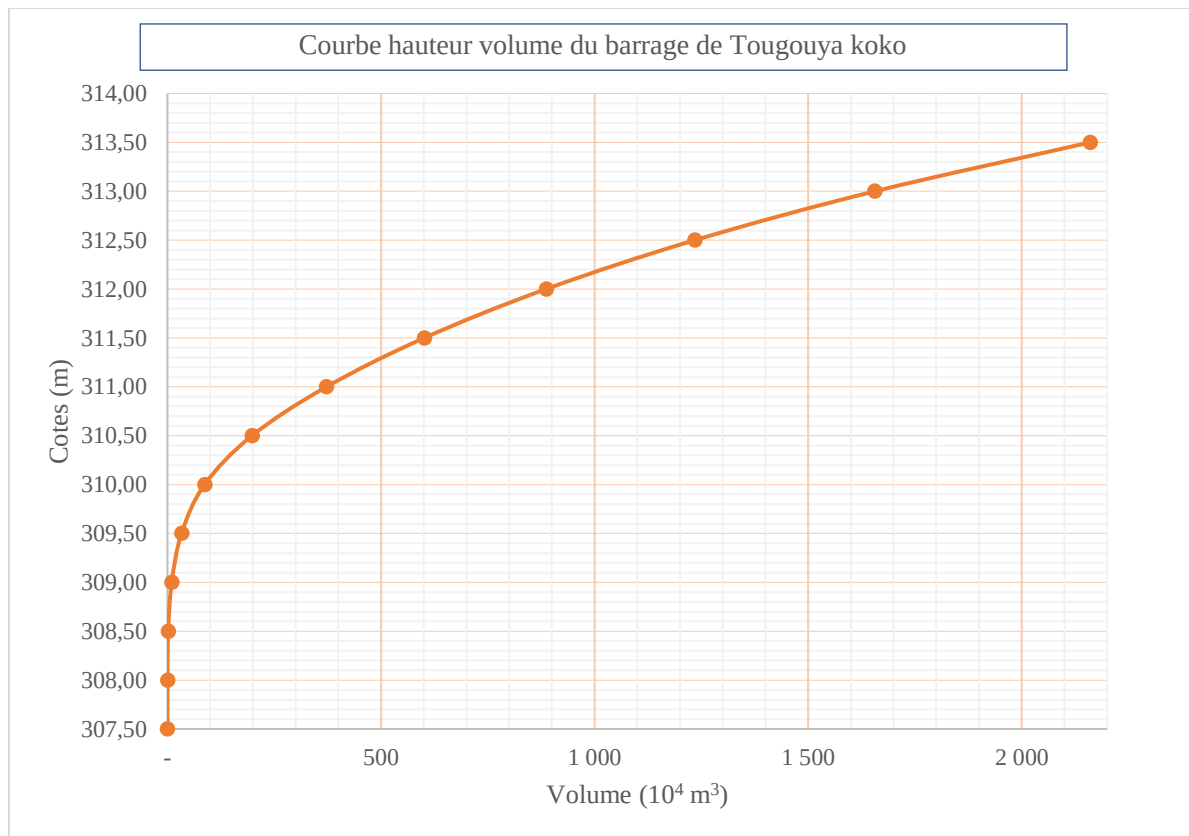


Figure 8: Courbe hauteur-Volume du barrage

Pour ce qui concerne la géotechnique, des puits à ciel ouvert ont été creusés le long de l'axe projeté de la digue, dans le but d'identifier le matériau en place. L'analyse du matériau indique que :

- Sur l'appui d'extrémité rive gauche, une grave argileuse repose sur la cuirasse latéritique réfractaire à 0,50 m de profondeur ;
- Sur l'appui rive gauche, l'argile peu plastique (argile sableuse ou limoneuse) a été rencontré entre -1,60m à -3,50 m en allant de la rive vers le lit majeur.
- La présence de l'argile limoneuse entre -0,40 m à -3,50 m dans le lit mineur ;
- L'appui en rive droite est constitué d'une argile limoneuse jusqu'à - 2,70 m de profondeur dont la classification selon la classification USCS montre que l'on a un mélange d'argile moyennement à peu plastique.

Cette identification du matériau a permis de recommander les profondeurs suivantes pour la fondation de la digue :

- 0,50 m au profil 7-9
- 2,50 m au profil 11

- 3,00 m au profil 15
- 4,50 m au profil 25
- 4,80 m au profil 29
- 5,50 m au profil 34
- 3,50 m au profil 44
- 0,50 m au profil 49

Ce travail consistait également à identifier des zones d'emprunt afin de mobiliser le matériau nécessaire à la construction de la digue et des ouvrages annexes. Les différentes prospections ont permis d'identifier :

- Une zone d'emprunt d'argile à 1,60 km de l'axe de la digue, disposant 66 000 m³ convenable pour la construction d'une digue homogène
- Une zone d'emprunt de graveleux latéritique en amont de la rive gauche, disposant de 5 500 m³
- Une carrière de graviers latéritique à 4km du site ;
- Du sable dans le village de Pélé situé à environ 10 km du site ;
- Un site d'approvisionnement de moellons du côté nord du village à environ 4 km du site.

4.2 Etude hydrologique

4.2.1 Analyse fréquentielle des pluies

Le traitement des données pluviométriques sur Hyfran a donné les résultats ci-après.

4.2.1.1 Pluies annuelles

Le *Tableau VIII* présente les valeurs caractéristiques de l'ajustement par la loi de Gauss, des pluies annuelles recueillies à la station synoptique de Ouahigouya, sur la période de 1980 à 2017.

Tableau VIII: Récapitulatif des valeurs caractéristiques des pluies annuelles

Période de retour	Fréquence	Pluies annuelles	Caractéristiques
100	0,99	1067,90	Années humides
50	0,98	1021,00	
20	0,95	950,60	
10	0,9	888,04	
5	0,8	812,25	
2	0,5	667,42	Moyenne
5	0,2	522,59	Années sèches
10	0,1	446,81	
20	0,05	384,24	

Période de retour	Fréquence	Pluies annuelles	Caractéristiques
50	0,02	313,85	
100	0,01	266,93	

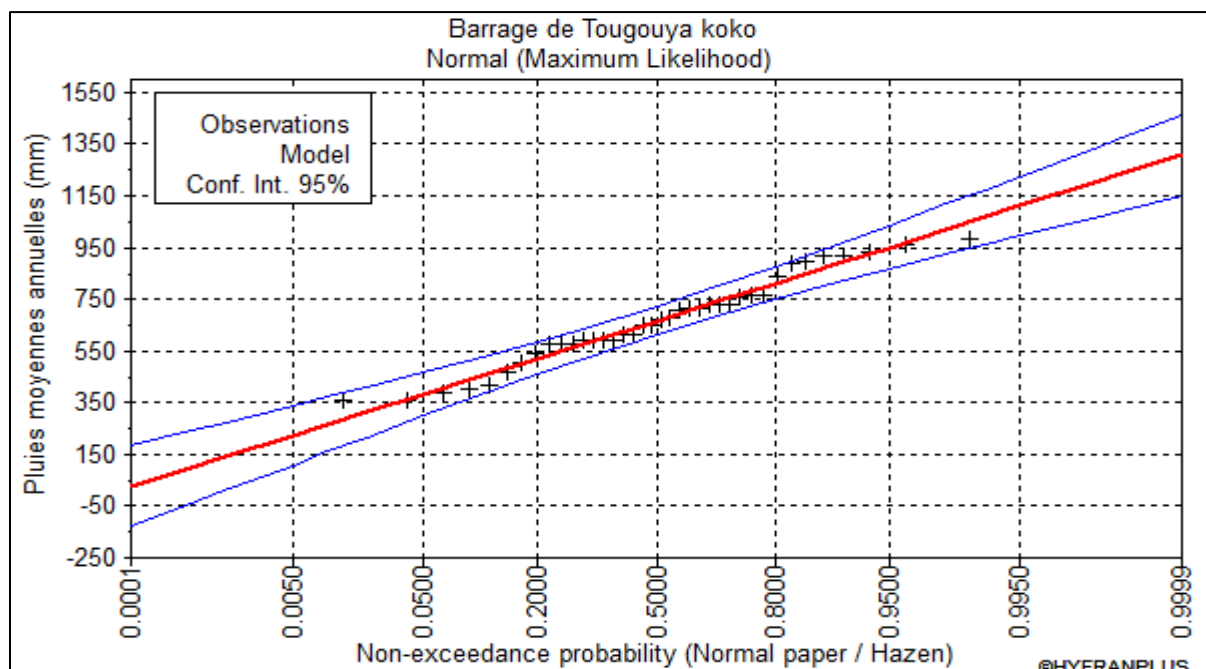


Figure 9: Ajustement des pluies moyennes annuelles par la loi normale

4.2.1.2 Pluies maximales journalières

Le *Tableau IX* présente les valeurs caractéristiques de l'ajustement par la loi de Gumbel, des pluies maximales journalières recueillies à la synoptique de Ouahigouya sur la période de 1980 à 2017.

Tableau IX: Récapitulatif des valeurs caractéristiques des pluies maximales journalières

Période de retour	Fréquence	Pluies max. journalières	Caractéristiques
100	0,99	120,00	Année humides
50	0,98	110,00	
20	0,95	96,70	
10	0,90	86,30	
5	0,80	75,50	
2	0,50	59,20	Moyenne
5	0,20	47,00	Années sèches
10	0,10	41,90	
20	0,05	38,10	
50	0,02	34,20	
100	0,01	31,90	

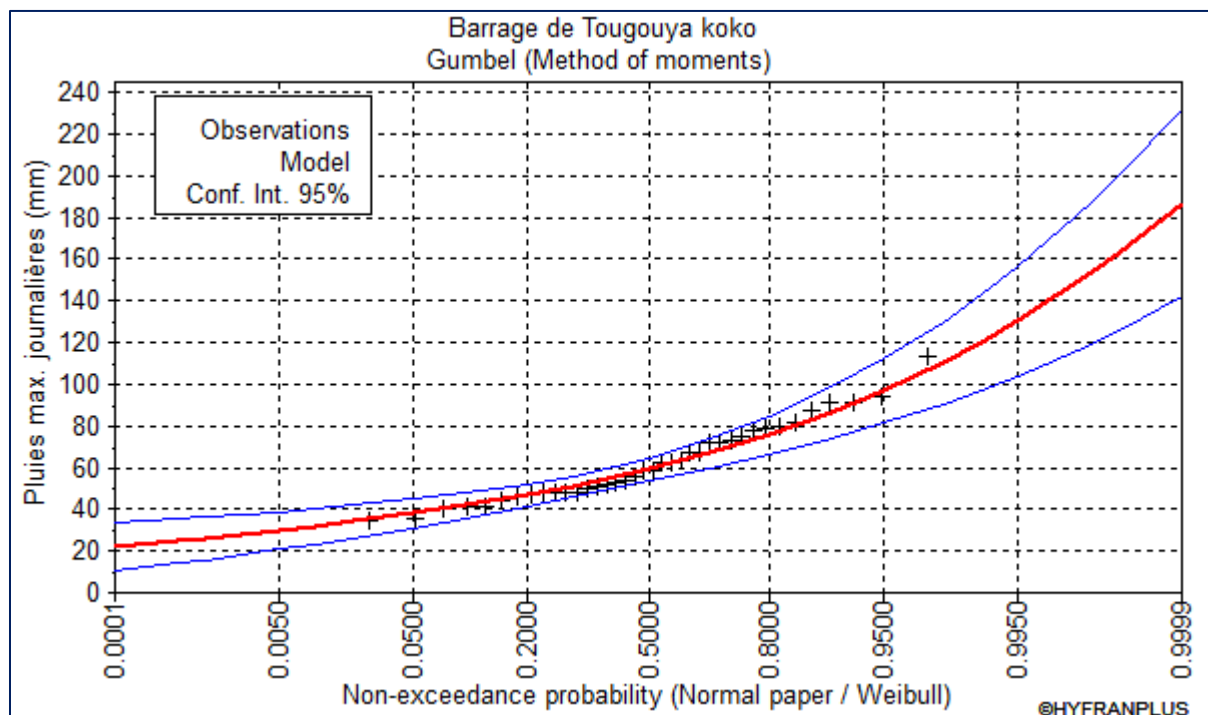


Figure 10: Ajustement des pluies maximales journalières par la loi de Gumbel

4.2.2 Caractérisation du bassin versant

Les éléments déterminants de l'infiltrabilité sont les caractères d'état de surface qui intègrent le couvert végétal, la surface du sol et les organisations pédologiques superficielles ayant subi des transformations sous l'effet des facteurs météorologiques, fauniques ou anthropiques.

L'analyse de la carte des sols nous permet de situer le bassin versant dans la classe de perméabilité **RI**. La valeur de la dénivelée spécifique quant à elle, nous permet de classer le bassin dans la classe de **relief modéré**. Il faut enfin noter également, que nous avons un réseau hydrographique de type dendritique.

Les paramètres physiques du bassin versant sont récapitulés dans le *Tableau X* ci-dessous.

Tableau X: Paramètres physiques du bassin versant

CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT	SYMBOLES	UNITES	VALEURS
Superficie	S	Km ²	320,31
Périmètre	P	Km	101,31
Indice de compacité de gravelus	Ic		1,60
Pente transversale du bassin	It	m/km	12,60
Indice global de pente	Ig	m/km	0,76
Indice global de pente corrigé	Igcor	m/km	3,72
Dénivelée spécifique	Ds	m	66,62
Longueur du cours d'eau principal		km	32,2
Longueur du rectangle équivalent	L	km	43,25
Coefficient de pointe	α		2,6
Coefficient d'abattement	A		0,67
Densité de drainage	Dd	Km/km ²	1,14
Classe de perméabilité			RI (P3)
Climat	Sahélien		

4.2.3 Calculs des crues

Le *Tableau XI* récapitule les valeurs obtenues à chaque étape du calcul de la crue décennale et de projet. Pour rester dans le sens de la sécurité, la valeur maximale de la crue décennale obtenue à partir des méthodes ORSTOM et CIEH est retenue pour le calcul de la crue de projet.

Tableau XI: Résultats calcul de la crue décennale et de projet

DESIGNATION	SYMBOLES	UNITES	VALEURS
Superficie	S	km ²	321,31
Pluie maximale journalière de fréquence décennale humide	P10	mm	86,30
Pluie moyenne annuelle	Pan	mm	667,42
Coefficient d'Abattement	A	-	0,67
Coefficient de ruissèlement	Kr10	-	12,59
Coefficient de pointe décennale	α_{10}	-	2,6
Temps de base	Tb10	min	1978,40

DESIGNATION	SYMBOLES	UNITES	VALEURS
Temps de montée	Tm10	min	726,39
Crue décennale ORSTOM	Q10	m ³ /s	53,13
Crue décennale CIEH	Q10	m ³ /s	49,41
Crue décennale retenue	Q10 ORSTOM	m ³ /s	53,13
Coefficient de gradex	C	-	4,22
Crue de projet	Q100	m ³ /s	224,29
Crue de rupture	Q rupt.	m ³ /s	389,01

4.2.4 Hydrogramme de crue

Construit à l'aide du débit de projet, du temps de base, de montée et du débit de discontinuité, l'hydrogramme de crue (*Figure 11*) présente l'évolution de la crue dans le temps et renseigne sur le débit maximal de la crue (224,29 m³/s). Le débit de discontinuité (29,47 m³/s) indique le changement de pente lors de la décrue.

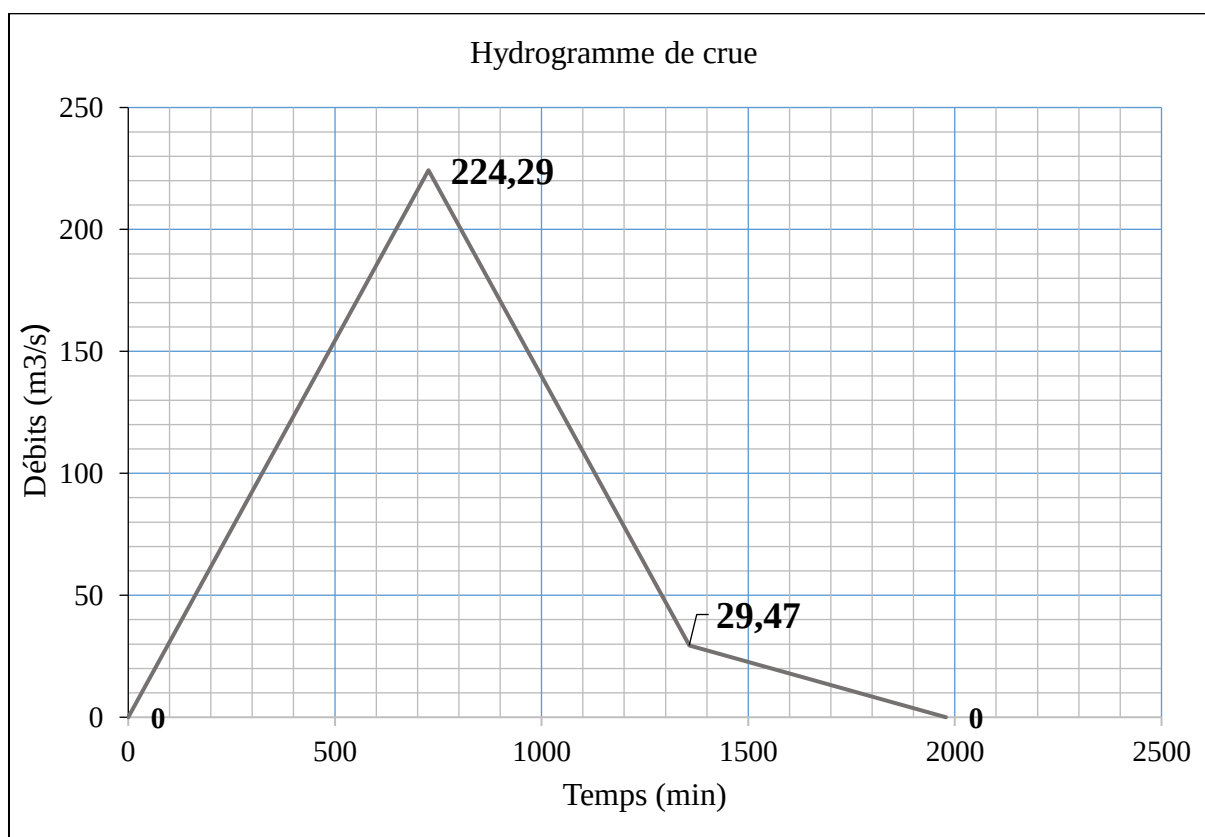


Figure 11: Hydrogramme de crue

4.3 Etude la retenue

4.3.1 Calculs des apports liquides

Le bassin versant identifié pour l'évaluation des apports liquide est celui de **Goudebo à Guemni** (Burkina Faso). Ce bassin à une pluviométrie, un relief et une structure de sol assez proche de notre bassin versant. Le *Tableau XII* présente la synthèse des résultats obtenus.

Tableau XII: Synthèse des apports liquides en m3

	RODIER	COUTAGNE
Année moyenne	8 587 298	30 024 392
Année sèche quinquennale	6 481 904	16 617 288
Année décennale sèche	3 740 705	10 283 743

La méthode de RODIER est celle qui donne des résultats le plus proche de la réalité de nos zones. Les valeurs données par cette méthode seront considérées pour la suite du travail.

4.3.2 Calculs de pertes

Les pertes par évaporation et infiltration ont été estimées sur la période où la retenue sera sollicité pour les besoins agro-pastoraux, soit de novembre à mai. Cette estimation est nécessaire pour la simulation de l'utilisation de la retenue. Le résultat est présenté dans le *Tableau XIII*

Tableau XIII: Synthèse des pertes par évaporation et infiltration

	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Nbre de jours	30	31	31	29	31	30	31
Ebac (mm)	165,21	166,63	170,32	164,76	198,79	198,02	212,46
Eretenue (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	155,48	164,34
Infiltration (mm)	45,00	46,50	46,50	43,50	46,50	45,00	46,50
Total pertes (mm)	184,42	188,47	190,36	180,82	204,39	200,48	210,84

Nous constatons une perte énorme par évaporation. Cela est dû à la configuration de la cuvette qui donne un plan d'eau étalé pour une faible profondeur.

4.3.3 Evaluation des besoins agricoles et pastoraux

Les besoins agro pastoraux ont été estimés avec des pas de dix (10) ans. Cette démarche permettra d'exploiter pleinement les potentialités qu'offre le barrage et de procéder à des ajustements au fur et à mesure que l'on évolue dans le temps.

Le *Tableau XIV* présente l'évolution de la superficie aménageable si l'ouvrage est maintenu dans ses dimensions initiales pendant cinquante ans (50) ans et avec les mêmes cultures.

Tableau XIV: Estimation des superficies aménageable en fonction du temps

Intervalle de temps (ans)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
S aménageable (ha)	100	100	60	45	45

Le *Tableau XV* présente une estimation des besoins agro pastoraux de l'ouvrage pour un horizon de 10 ans.

Tableau XV: Synthèse des besoins agro pastoraux

Nbre de jours	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai
Besoins d'irrigation (m3)	106 839,62	227 158,52	249 069,95	228 126,28	177 794,14	0	0
Besoins pastoraux (m3)	2 776,59	2 869,15	2 776,59	2 684,04	2 869,15	2 776,59	2 869,15
Total besoins	109 616,21	230 027,67	251 846,55	230 810,32	180 663,28	2 776,59	2 869,15

Les besoins en eau des activités agropastorales sont évalués à **1 008 610 m³** pour une période de dix (10) ans et une superficie de 100 ha. En intégrant les différentes pertes dues à l'infiltration, l'évaporation et les dépôts solides, nous obtenons la courbe d'exploitation présentée sur la

Figure 12.

Le calage du plan d'eau normal à la côte **311,50 m** permet de mobiliser un volume de **6 013 840 m³** d'eau. La côte de prise serra initialement callée à la côte de **309,50 m**.

Un volume allant de 297 000 m³ à 28600 m³ restera à la fin de la campagne et servira de tranche écologique et aussi pour les besoins non considérés (Essentiellement les besoins pour les travaux de construction).

Les apports ayant été considérés sont ceux de la méthode de RODIER en année quinquennale sèche. Ce choix est basé sur une observation faite sur le remplissage des barrages existants. Cette observation fait état d'un remplissage rapide (pratiquement en début de saison) des barrages dimensionnés en fonction des apports de l'année décennal sèche.

De plus, la région sahélienne est caractérisée, depuis la moitié du XXème siècle, par un déficit pluviométrique important marqué par de fortes sécheresses en 1972-1973 et en 1983-1984 qui ont eu des effets considérables sur l'écosystème, les ressources et la population locale. Les réponses hydrologiques induites par ce déficit se traduisent par des effets contrastés suivant la zone géographique considérée. Si dans la zone soudano-guinéenne, une baisse des écoulements de surface a été observée, la zone sahélienne, paradoxalement, a connu une augmentation de ces écoulements durant la même période (GAL et al., 2016).

Dans la mesure où le site offre la possibilité de mobiliser un volume important d'eau, nous faisons ce choix dans le but d'offrir un barrage pérenne à la population et ainsi accroître leur productivité.

Le *Tableau XVI* présente le taux de remplissage de la retenue en fonction de différentes fréquences de pluviométrie.

Tableau XVI: Taux de remplissage du barrage

Années moyenne	Année quinquennale sèche	Année décennale sèche
100%	100%	62%

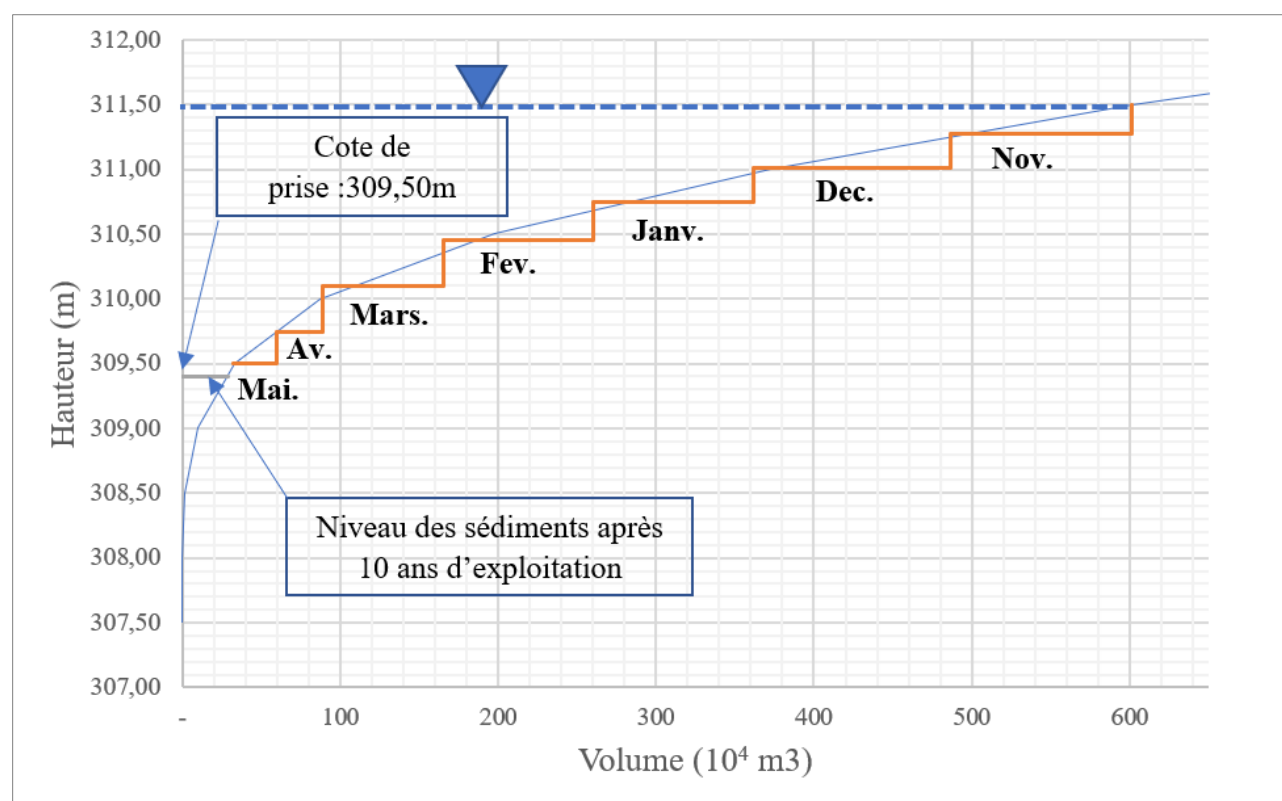


Figure 12: Courbe d'exploitation de la retenue

4.4 Caractéristiques de la digue et des ouvrages annexes

4.4.1 Digue et tranchée d'ancrage

Nous avons fait le choix de la construction d'une digue homogène au regard des résultats des études géotechniques et de la facilité d'exécution. En effet nous disposons d'une quantité suffisante d'argile et la construction d'une digue homogène demeure moins complexe que la réalisation d'une digue à zone.

La digue reposera sur une tranchée d'encrage de profondeur variant entre 0,50 m et 5,50 m. La tranchée aura une largeur de fond de 3,50 m afin de permettre la mobilité des engins de terrassement. Ses parois auront des talus de 1H/3V afin de leur donner une stabilité lors de l'excavation.

L'axe de la digue est défini de sorte à optimiser le rapport coût de construction et volume d'eau mobilisée. Sur cette base, l'axe a été choisi, donnant au barrage une forme rectiligne et une longueur de 1 076 m (déversoir y compris). Les dimensions retenues pour la construction de la digue sont inscrites *Tableau XVII*.

Le détail de la note de calcul se trouve en *Annexe 3* : Dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes

Tableau XVII: Synthèse des caractéristiques de la digue

Désignations	Unités	Valeurs
Revanche	m	1,00
Charge d’eau en amont du seuil h	m	0,8
Côte crête digue crête	m	313,30
Hauteur maximale de la digue	m	5,1
Largeur en crête de la digue	m	4,00
Pente du talus amont	m/m	2,5H/1V
Pente du talus aval	m/m	2,5H/1V
Protection de la digue		
Epaisseur couche de couronnement	m	0,2
Mur parapet	m × m	0,50×0,90
Murets de crête	m × m	0,50×0,50
Epaisseur du perré sec	m	0,45
Epaisseur couche de pose	m	0,15
Nature de la protection du talus amont	Perré sec	
Nature de la protection du talus aval	Perré sec	
Drain		
Perméabilité du Sable pour drain	m/s	6.10 ⁻⁹
Largeur du filtre-drain	m	250
Epaisseur du filtre-drain	m	0,50

4.4.2 Déversoir

Le laminage de crue a permis d'obtenir la longueur du déversoir qui est de **110 m**. Nous optons pour un déversoir de type poids à section trapézoïdal construit en béton cyclopéen. La construction se fera par plot de 5,00 m, relié par des joint water-stop et des joints bitumineux pour assurer l'étanchéité de l'ouvrage.

Les dimensions inscrites dans le *Tableau XVIII* sont retenues pour la construction du déversoir. Ces dimensions vérifient les stabilités internes et externes de l'ouvrage. Nous avons en effet des facteurs de sécurité de 1,24 ($>1,20$) pour la stabilité au glissement et 7,41 ($>1,5$) pour la stabilité au renversement.

Tableau XVIII: Synthèse des dimensions géométriques du déversoir trapézoïdal

Désignations	Valeurs
Hauteur du déversoir	3,30
Longueur du déversoir	110 m
Largeur en crête b_1	1,30 m
Largeur à la base b_2	7,00 m
Angle α	60,00 °
Côte en crête	311,50 m
Matériaux	Béton Cyclopéen
Lame d'eau évacuée	0,80 m
Forme, Position	Section trapézoïdale, Semi latéral rive droite

4.4.3 Bassin de dissipation

Nous avons un bassin à ressaut de type II selon la classification de l'USBR. Il 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 d'un seuil terminal. Il est protégé par un enrochement disposé en aval, de sorte à empêcher d'éventuelles érosions. Deux files de barbacanes espacées de 0,50 m sont placées pour l'évacuation des sous-pressions. L'ensemble du bassin reposera sur un lit de sable de 0,20 m. Les dimensions du bassin de dissipation et ses constituants sont résumés dans le *Tableau XIX*.

. (Détails de calcul en *Annexe 3 : Dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes*).

Tableau XIX: Caractéristiques du bassin de dissipation

Désignation	Symbole/unité	Valeur
Enfoncement du bassin	D (m)	0,65
Vitesse de l'eau à l'entrée du bassin	V1(m/s)	8,54
Nombre de Froude	Fr	7,28
Type de bassin	Type	Bassin de type II
Longueur du bassin	L (m)	4,00
Epaisseur bassin	E(m)	0,30
Blocs de chutes		
Hauteur des blocs de chute	h_1 (m)	0,20
Largeur des blocs de chute	l_1 (m)	0,20
Espacement des blocs de chute	E_1 (m)	0,20
Blocs chicanes		
Hauteur des blocs chicanes	h_2 (m)	0,40
Largeur des blocs chicanes	L_2 (m)	0,30
Largeur en crête des blocs chicanes	$E_{\text{crête}}$ (m)	0,1
Espacement des blocs chicanes	E_2 (m)	0,30
Distance blocs chicanes-blocs de chutes	e_1 (m)	1,00
Protection aval		
Hauteur du seuil terminal	h_4 (m)	0,30
Longueur de la protection avale	L_p (m)	8,00
Diamètre minimal des enrochement	D_{min}	0,1
Epaisseur de la couche d'enrochement	E_p (m)	0,30
Muret de blocage	$m \times m \times m$	$0,500 \times 1,00 \times 110$

4.4.4 Murs bajoyers

Le mur bajoyer est constitué essentiellement de trois (03) parties. La partie centrale ayant des dimensions constantes et les ailes amont et aval ayant des dimensions variables.

Le résultat du prédimensionnement sont consignés dans le *Tableau XX*

Ces dimensions donnent au mur une stabilité vis-à-vis du glissement et du renversement, avec des facteurs de sécurité respectifs de 2,05 et 2,28.

Le mur est entièrement construit en béton armé suivant la table des armatures présentée dans le *Tableau XXI*. Le détail des calculs est présenté en *Annexe 3 : Dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes*

Tableau XX: Caractéristiques murs bajoyers

Désignation	Unité	Valeur (m)
Hauteur du mur bajoyer	m	6,10
Profondeur d'ancrage du mur	m	1,00
Épaisseur en crête de mur	m	0,30
Épaisseur en base de mur	m	0,60
Épaisseur de la semelle	m	0,60
Longueur de la semelle	m	2,80

Tableau XXI: Table des armatures du mur bajoyer

Mur central et ailes (Double nappes)				
	Avant		Arrière	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
	HA12 e= 15 cm	HA16 e= 20 cm	HA10 e =15 cm	HA12 e =15 cm
	Couronnement du voile : 2HA16			
Semelle (Double nappe)				
Armature	Longitudinal		Transversal	
Supérieure	HA 10 e = 25 cm		HA16 e = 20 cm	
Inférieure	HA 10 e = 25 cm		HA 10 e = 25 cm	

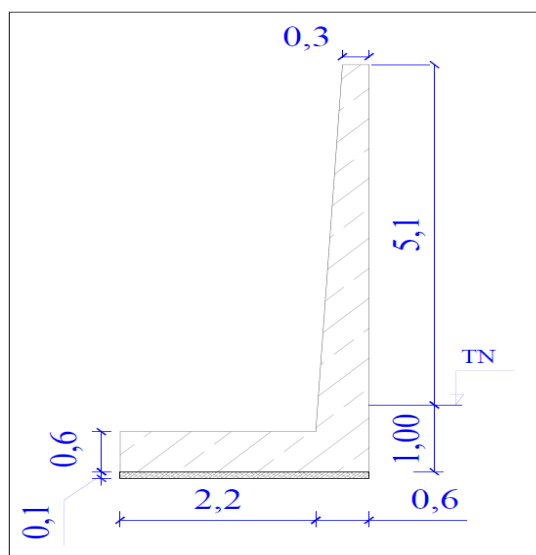


Figure 13: Dimensions caractéristiques du mur bajoyer

4.4.5 Ouvrage de prise

L'ouvrage de prise est constitué :

- ✓ d'une tour de prise de section rectangulaire (1,90 m x 1,90 m) d'une hauteur totale de 5,40 m et ancrée à une profondeur de 1,20 m. L'épaisseur des parois est de 0,20 m et repose sur un radier 0,20 m. Une ouverture latérale munie de vanne de garde plate (de section 1,20 m x 1,00 m) permet l'entrée de l'eau et le contrôle de la cote de prise. La tour de prise est l'ouvrage d'entrée d'eau de la prise. Il est accessible grâce à une passerelle métallique ;
- ✓ d'un bassin de tranquillisation aval du type impact modifié de largeur 1,60 m, de longueur totale 3,40 m et de profondeur 1,60 m. Les parois du bassin ainsi que la poutre verticale d'impact ont une épaisseur de 0,20 m et sont réalisées en béton armé ;
- ✓ d'une conduite en fonte ductile DN 300 et de 27,00 m de long allant de la tour de prise au bac de tranquillisation en traversant la digue ;
- ✓ d'une vanne papillon DN 300, servant de vanne de réglage.

Pour améliorer l'adhérence du remblai à la conduite, celle-ci sera enrobée dans une enveloppe de béton armé dosé à 350 kg/m³ et d'épaisseur 0,20 m minimum et de forme trapézoïdale.

Une passerelle métallique permettra l'accès à la tour à partir de la digue et un escalier construit en béton ordinaire permettra l'accès au bac aval.

Les parois et radiers de la tour et du bac sont toutes armées d'une double nappe d'aciers HA10, faites de mailles de 20 cm x 20 cm.

L'évolution de la cote de prise est inscrite dans le *Tableau XXII*.

Tableau XXII: Evolution de la cote de prise

Période (ans)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Côte (m)	309,50	309,90	310,10	310,30	310,40

4.4.6 Diguettes de protection

Les diguettes de protection serviront à canaliser les eaux après le déversement et empêcher un éventuel retour au pied de la digue.

Les diguettes seront en remblai argileux et partiront des murs en retour des murs bajoyers pour s'étendre sur une longueur de 60,00m

Elles seront ancrées à 0,5m de profondeur et soigneusement compacté jusqu'à une hauteur de 1,50 m, avec des talus de 1H/1V. Les talus en contact avec l'eau seront protégés par un perré maçonné, et les autres talus seront protégés par un perré sec.

4.4.7 Dispositif de suivi et de protection du barrage

Pour suivre la progression du volume de la retenue, une échelle limnimétrique de 5,00 m sera réalisée. L'échelle limnimétrique sera décomposée en petites échelles de 1,00m et posée suivant les courbes de niveau.

Le long de la limite des plus hautes eaux (long de 20,3 km) seront posées 203 bornes pour sa délimitation.

4.5 Impact environnemental

Sur la base des résultats de la Notice d'Impact Environnemental et Social de la réalisation du barrage et de ces activités additionnelles telles que l'aménagement futur des parcelles agricoles, le projet aura des impacts positifs potentiels sur le plan social, économique et environnemental (après une mise en œuvre efficace du PGES).

Cependant, ces effets négatifs potentiels se rapportent aux risques de pollutions et de nuisances associées aux travaux, aux risques de contamination des sols et des ressources en eau, la recrudescence et/ou l'émergence des maladies d'origine hydrique et qui du reste sont tout à fait localisés, évitables et maîtrisables techniquement et financièrement.

Ces risques seront limités grâce à la mise en œuvre des mesures envisagées dans le plan de gestion environnementale et sociale (PGES) élaboré conformément aux exigences environnementales et sociales.

Le suivi environnemental et social sera focalisé sur :

- la surveillance des travaux afin de s'assurer que les mesures d'atténuation et de bonification recommandées sont mises en œuvre ;
- le suivi des impacts du projet sur les composantes environnementales et sociales les plus préoccupantes ;
- la phase d'exploitation du plan d'eau (AC3E, 2020a).

Selon les dispositions du décret N°1187 du 22 octobre 2015, le projet doit être soumis à la réalisation d'une Notice d'Impact Environnemental et Social (NIES). C'est dans ce cadre que les impacts potentiels ont été identifiés. Ces impacts ont fait l'objet d'analyse suivant la matrice d'évaluation de FECTEAU (*Tableau XXIII*) afin d'apprécier leur importance.

4.5.1 Identification des impacts

La « Matrice de LEOPOLD modifiée » a été utilisée comme outils d'identification des impacts (*Tableau XXIV*). Cet outil permet de recenser les différentes activités source d'impacts potentiels en phase de construction et d'exploitation du projet.

4.5.2 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 ».

Tableau XXIII: Matrice d'évaluation de FECTEAU Intensité de l'impact

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

Tableau XXIV: Matrice de LEOPOLD

PHASES	SOURCE D'IMPACTS	Milieu physique				Milieu biologique				Milieu humain					
		Sol	Air	Eau de Surface	Eaux souterraines	Végétation	Faune	Paysage	Population	Santé-sécurité	Main-d'œuvre	Activités Économique	Pêche	Emploi	Circulation
PRE-CONSTRUCTION	Défrichement et déboisement	-	-	0	0	-	-	-	0	+	+	+	0	+	0
	Installation des divers chantiers	0	0	-	0	-	-	-	-	-	+	+	0	+	0
CONSTRUCTION	Terrassement	-	-	-	0	-	-	-	-	-	+	+	0	+	-
	Transport des matériaux	-	-	-	0	-	0	0	0	-	+	+	0	+	-
	Zone d'emprunt	-	-	0	0	-	-	-	-	-	+	+	0	+	-
	Exécution des remblais	-	-	-	0	-	-	-	-	-	+	+	0	+	-
	Transport des matériaux de construction	-	-	0	0	0	-	-	-	-	+	+	0	+	-
	Construction de la digue	0	-	0	0	0	0	0	-	-	+	+	0	+	-
	Construction du déversoir	0	-	0	0	0	0	0	-	-	+	+	0	+	-
	Construction des ouvrages annexes	0	-	0	0	0	0	0	-	-	+	+	0	+	-
	Plantation d'arbres	0	0	0	0	+	+	+	0	0	+	+	0	+	0
PHASE D'EXPLOITATION	Présence d'eau dans le barrage	+	+	+	+	+	+	+	+	-	0	+	0	+	0
	Développement des divers usages	-	-	-	0	-	0	0	+	0	0	+	+	+	0
	Divagation du bétail autour du barrage	-	-	-	0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	-
Légende : (+) impact positif ; (-) impacts négatifs ; (0) Absence d'impact ; (+/-) impacts positif et négatif à la fois.															

4.5.3 Mesures d'atténuation et de compensation

Les mesures d'atténuation visent à prévenir un impact négatif potentiel sur l'environnement ou à minimiser son importance. Ces mesures concernent le milieu physique, le milieu biologique, le milieu humain, et sont consignés dans les tableaux (*Tableau XXV, Tableau XXVI, Tableau XXVII*) ci-dessous :

Tableau XXV: Mesures d'atténuation sur le milieu physique

Milieu physique concerné	Rappel de l'impact	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation
Sol	Érosion et perte des propriétés physique et chimique du sol	Négative et majeure	• Prendre des précautions nécessaires afin de remettre en place la terre arable décapée. • Restaurer et aménager les zones d'emprunts par le reboisement et l'installation des dispositifs de lutte anti érosive (cordon pierreux)
Eau de surface	Risque de pollution des eaux et envasement	Négative et moyenne	• Récolter les huiles usagées et les déchets pour incinération ; • Prévoir des installations sanitaires pour le personnel du chantier ; • Respecter la bande de servitude estimée à 100 à partir du niveau supérieur des eaux ; • Végétaliser la bande de servitude ; • Encourager l'installation des cordons pierreux autour des exploitations agricoles situées sur le bassin versant ; • Veiller à l'utilisation des fertilisants et des pesticides homologués
Eau sous-terrainne	Risque de pollution des eaux sous-terrainnes par infiltration	Négative et mineure	• Récolter les huiles usagées et les déchets pour incinération ; • Veiller à l'utilisation des fertilisants et des pesticides homologués

Milieu physique concerné	Rappel de l'impact	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation
Qualité de l'air	Dégradation de la qualité de l'air en raison des émissions de particules associées aux activités d'aménagement et au dégagement du gaz carbonique	Négative mineure et	• Arrosage des sites • Entretien périodique des engins de terrassement
Nuisances sonores	Augmentation du bruit dans la zone des travaux	Négatives moyenne et	• Entretien périodique des engins de terrassement

Source : (AC3E, 2020a)

Tableau XXVI: Mesures d'atténuation sur le milieu biologique

Milieu biologique concerné	Rappel de l'impact	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation
Faune terrestre	Destruction de l'habitat de la faune	Négative et mineure	- Faire respecter la législation en matière de gestion de la faune en interdisant l'abattage ou la capture (faune aviaire essentiellement) ; - Restauration de l'habitat de la faune (voir végétation)
Faune aquatique	Réduction et/ou baisse de la qualité de la faune aquatique due à la pollution et à l'eutrophisation	Négative et mineure	- Respecter la bande de servitude estimée à 100 à partir du niveau supérieur des eaux ; - Végétaliser la bande de servitude ; - Encourager l'installation des cordons pierreux autour des exploitations agricoles situées sur le bassin versant ; - Veiller à l'utilisation des fertilisants et des pesticides homologués
Végétation	Destruction du couvert végétal	Négative et majeure	Remplacer les espèces ligneuses abattues lors des travaux par des plantations d'arbres sur la bande de servitude, sur les zones d'emprunt et dans les exploitations agricoles (plantation d'alignement)

Source : (AC3E, 2020a)

Tableau XXVII: Mesures d'atténuation et de compensation sur le milieu humain

Milieu humain concerné	Rappel de l'impact	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation
Santé/sécurité	Lésions corporelles, inaptitude temporaire ou permanente, maladies respiratoires, paludisme et autres maladies d'origine hydrique, mort.	Nature : négative Importance : majeure	• Sensibiliser les riverains sur les risques du paludisme et les maladies hydriques ; • Informer, conscientiser et éduquer les travailleurs sur les M.S.T et le sida et les précautions nécessaires pour les éviter ; • Assurer le respect et le contrôle rigoureux des conditions d'hygiène sur le chantier ; • Assurer la gestion efficiente des déchets solides et liquides, par la réalisation des infrastructures sanitaires dans les habitations riveraines du plan d'eau telles que les fosses septiques ; • Assurer une meilleure gestion des eaux usées et des déchets des ouvriers, des huiles de vidanges sur le chantier
Socio-économie	Perte d'exploitations agricoles, de concessions et de lieu de culte	Nature : négative Importance : mineure	• Privilégier les personnes ayant perdu leurs champs dans l'attribution des parcelles aménagées ; • Apporter un appui en intrants agricoles aux personnes ayant perdu leurs champs afin de les permettre d'obtenir une bonne productivité dans les nouveaux champs ; • Apporter une compensation financière aux personnes ou communautés qui auront leurs concessions/lieu de culte détruites
Habitat et patrimoine culturel	Modification du paysage local par la destruction de bâtiments, délocalisation de lieu de culte et de cimetière	Nature : négative Importance : majeure	• Apporter une compensation financière aux personnes ou communautés qui auront leurs concessions/lieu de culte détruites. • Accompagner les proches des disparus dans le processus de récupération et de délocalisation de leurs dépouilles.

Milieu humain concerné	Rappel de l'impact	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation
Circulation	Collision avec les camions de transport des agrégats, le bétail et suppression de pistes	Nature : négative Importance : moyenne	• Renforcement de la sécurité routière par l'aménagement de déviations provisoires, par des signalisations additionnelles (panneaux de signalisation et d'indication) et par la limitation de vitesse ; • L'information et la sensibilisation des ouvriers (surtout les chauffeurs pour respecter la limitation de vitesses), des riverains et des usagers de la route (campagnes et panneaux de sensibilisation et d'information sur le déroulement des travaux) ; • Réaliser les travaux dans le temps imparti afin de limiter la période de perturbation des activités des riverains ; • Créer de nouvelles pistes.

Source : (AC3E, 2020a)

4.5.4 Mesures de bonification des impacts positifs

La réalisation de la retenue d'eau de Tougouya Koko va certainement impulser le développement socio-économique dans les localités contiguës au plan d'eau à travers les possibilités agricoles pastorales et halieutiques qui seront offertes aux communautés. Dans cette mesure, il convient des mesures d'accompagnement appropriées soient mises en œuvre afin de renforcer ces avantages. Le *Tableau XXVIII* présente les mesures de renforcement des impacts positifs.

Tableau XXVIII: Mesures de bonification des impacts positifs

Secteur concerné	Rappel de l'impact	Mesures de bonification
Emploi	Création d'emplois temporaires et permanents	Faire obligation à l'entreprise chargée des travaux de recruter toute la main d'œuvre non qualifiée dans les localités contiguës au plan d'eau
Socio-économie	Amélioration de l'économie locale	- Organiser les producteurs en groupements puis en coopérative afin d'avoir une plus-value de la production ; - Initier des formations en techniques de production et de conservation des produits maraichers et équiper les producteurs en matériel conséquent ; - Réaliser un empoissonnement du plan d'eau ; - Appuyer la mise en place et la formation de groupement de pêcheurs ; - Organiser les femmes en groupements de transformatrices des produits de la pêche, les former et appuyer en équipements conséquents ; - Élaborer un schéma de gestion pastorale prenant en compte l'alimentation et l'abreuvement du bétail ; - Mettre en place un comité de gestion (COGES) du plan d'eau ; - Percevoir des taxes sur les prélèvements d'eau (agriculture, élevage, construction) du barrage et sur l'exploitation des ressources halieutiques
Qualité de la vie	Amélioration du niveau de vie des populations locales	Valoriser la recharge de la nappe phréatique en créant des forages équipés de système d'exhaure solaire pour l'alimentation en eau potable dans les villages riverains

Source : (AC3E, 2020a)

4.6 Etude financière

4.6.1 Avant métré des ouvrages

Les résultats de l'avant métré sont présentés en *Annexe 6* : Devis quantitatif et estimatif du projet

4.6.2 Coût du projet

Le *Tableau XXIX* présente une synthèse de l'ensemble des coûts de réalisation des ouvrages et de la mise en œuvre du plan de gestion environnemental.

Tableau XXIX: Synthèse du coût global du projet

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	PRIX TOTAL (FCFA)	POURCENTAGE
I	Installation et repli du matériel de chantier	20 000 000	1,50%
II	Tranchée d'ancrage et fondation	182 865 295	13,70%
III	Digue	528 470 260	39,59%
VI	Évacuateur de crue	280 464 552	21,01%
V	Diguettes de protection	20 872 290	1,56%
VI	Ouvrages de prise rive gauche et rive droite	12 830 026	0,96%
VII	Dispositif de suivi du barrage et balisage de la limite des PHE	25 625 000	1,92%
	Sous total	1 071 127 423	80,23%
VIII	Coût de mise en œuvre de PGES	263 870 500	19,77%
	COUT GLOBAL DU PROJET	1 334 997 923	100,00%

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La construction du barrage de Tougouya koko s'inscrit dans la politique nationale en matière de sécurité alimentaire et de réduction de la pauvreté en milieu rural. L'ouvrage permettra de mobiliser un grand volume d'eau afin d'accroître la production agropastorale de la commune abritant le site, mais aussi des communes environnantes.

Il ressort de notre étude qu'un volume de **6 013 839 m³** sera mobiliser au profit des futurs exploitants du barrage. L'ouvrage jouera à la fois le rôle de réservoir d'eau et d'ouvrage de régulation des crues transitant par son exutoire.

Des impacts environnementaux aussi bien négatifs que positifs ont été identifiés, et les mesures d'atténuation et de bonification sont proposées pour une bonne exploitation de la retenue d'eau.

Dans le but de garantir une exploitation durable de la ressource en eau qui sera mobilisée, il est nécessaire de mettre en œuvre les recommandations suivantes :

- un suivi rigoureux des travaux d'exécution afin que les différents ouvrages du barrage soient exécutés dans les règles de l'art ;
- La mise en place un comité d'exploitants pour assurer principalement le suivi et l'entretien courant du barrage y compris le périmètre qui sera réaménagé en aval ;
- Le renforcement de capacité des exploitants aux bonnes pratiques agricoles pour éviter l'envasement du lit du barrage mais aussi la pollution de l'eau ;
- la mise en œuvre le Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) annexé à la Notice d'Impact Environnementale et Social (NIES) ;

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AC3E. (2020a). *Notice d'impact environnemental et social de la réalisation du barrage de Tougouya Koko.*
- AC3E. (2020b). *Rapport socioéconomique de la réalisation du barrage de Tougouya Koko* (p. 26).
- ADEOSSI, G. (2020). *Etude d'impact environnemental et social.*
- Billaz, R. (2012). La lutte contre les aléas climatiques au Burkina Faso, acquis et défis de l'agro-écologie : Le cas de la région Nord. *Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières.*
- COMPAORE, M. L. (1996). *Cours de barrage.*
- DURAND, J.-M., ROYET, P., & MERIAUX, P. (1998). *Technique des petits barrages en Afrique Sahélienne et équatoriale* (Cemagref).
- FAO. (1996). *Crues et apports, Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugeés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche.*
- GAL, L., Grippa, M., & Mougin, E. (2016). *Modeling the paradoxical evolution of the sahelian hydrology* [Université Paul Sabatier (Toulouse 3)]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01484584>
- KARAMBIRI, H., & GUEYE, I. (2007). *Petits barrages en terre.*
- KARAMBIRI, H., & NIANG, D. (2011). *Cours d'hydrologie 2ie.*
- KEITA, A. (2019). *Irrigation par aspersion V2.32.*
- Lamachere, J.-M. (1998). *Transports Solides à L'exutoire D'un Bassin Versant Sahélien (région De Bidi, Burkina Faso).* Tech. rep.
- LO, M. (2017). *Barrage 1.*
- MERH. (2015). *PLAN NATIONAL D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES (PNA) DU BURKINA FASO.*
- PHOCAIDES, A. (2008). *Manuel des techniques d'irrigation sous pression* (Seconde).
- Triboulet, J. P., Gonni, D. C., Nouvelot, J. F., Lamachere, J. M., Puech, C., & Faures, J. M. (1996). *Crues et apports. Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugeés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche.* FAO.

Site de téléchargement des images satellitaires :

<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>

ANNEXES

Annexe 1 : Etude hydrologique.....	xi
Annexe 2 : Etude de la retenue.....	xxi
Annexe 3 : Dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes	xxxii
Annexe 4 : Dimensionnement du déversoir	xlvi
Annexe 5 : Impact environnemental	li
Annexe 6 : Devis quantitatif et estimatif du projet	liii
Annexe 7 : Pièces graphiques.....	lxxi

Annexe 1 : Etude hydrologique

➤ Caractérisation du bassin versant

La caractérisation du bassin versant consiste à sa délimitation, la détermination de ses paramètres hydro-morphologiques et à la construction de l'hydrogramme de crue.

❖ L'indice de compacité de Gravelus

Appelé également coefficient de forme, il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie.

$$K_G = 0,282 * \frac{101,31}{\sqrt{320,31}} = 1,60 \text{ Avec } \begin{cases} S: \text{Superficie du bassin, en km}^2 \\ P: \text{Périmètre du bassin, en km} \end{cases}$$

❖ Longueur du rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin versant. Sa longueur est donnée par :

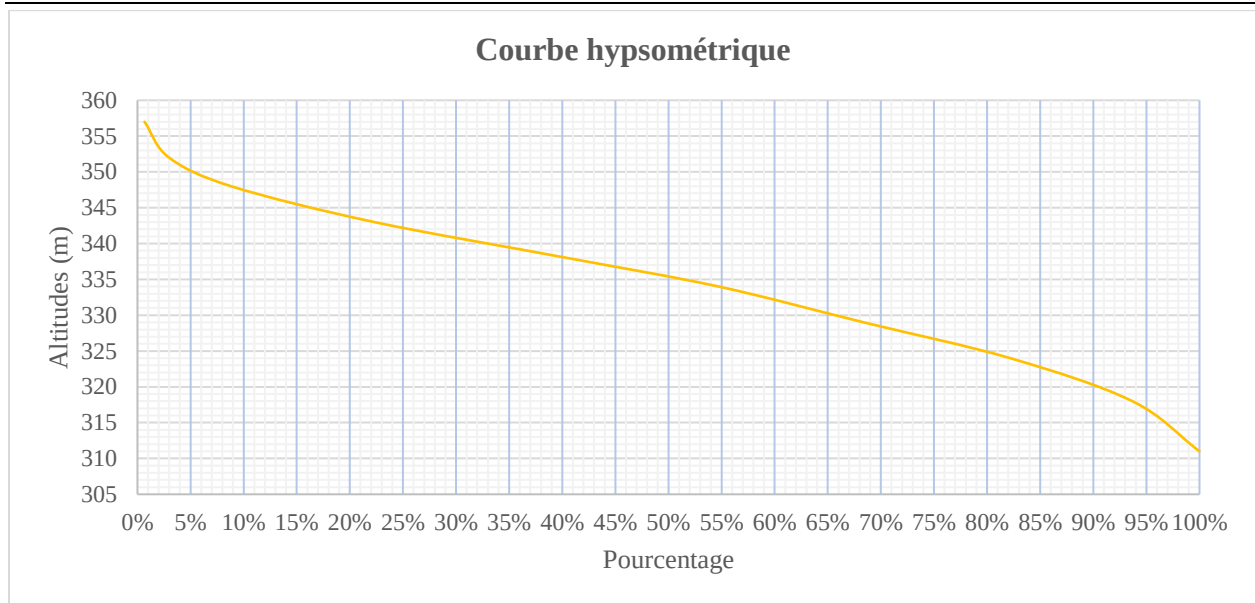
$$\text{Leq[Km]} = \frac{101,31 + \sqrt{101,31^2 - 16 * 320,31}}{4} = 43,25[\text{Km}]$$

❖ Courbe hypsométrique

Elle est tracée à l'aide des données ci-dessous.

▪ Répartition de la superficie du bassin versant en fonction de l'altitude

Côte min (m)	Surface (km ²)	Pourcentage cumulé (%)
311	60,115	100,00%
318	371,08	93,68%
324	694,66	82,19%
329	1165,4	68,40%
334	1260,6	54,73%
338	1351,3	40,45%
343	1254,6	22,31%
348	777,51	8,83%
352	414,67	2,98%
357	159,17	0,67%



▪ *Courbe hypsométrique du bassin versant*

A partir de la courbe nous lisons :

H5%= 350,00m H95%= 317,00 m

❖ **Indice global de pente et l'indice de pente corrigé**

Les pentes transversales **It** ont été calculées en six (06) sections différentes et leur moyenne retenue comme pente transversale (**It**) du bassin versant et comparée à la pente longitudinale (**Ig**) pour s'assurer d'une éventuelle correction de l'indice global.

$$I_g \text{ [m/Km]} = \frac{\text{Alt}5\% - \text{Alt}95\%}{L} = \frac{350 - 317}{43,25} = 0,76 \text{ [m/Km]}$$

▪ *Synthèse du calcul de la pente transversale moyenne du bassin versant*

Les pentes transversales [m/Km]	IT1	12,64
	IT2	11,13
	IT3	13,27
	IT4	13,07
	IT5	12,82
	IT6	12,64
	IT moyenne	12,60
Différence	93,94% > 20% de Ig On calcul alors Ig corrigé	
Longueur du rectangle équivalent =43,25 km	Donc n=4	

$$I_{g_{cor}} = \frac{[(n - 1) * I_g + IT]}{n} = \frac{[(4 - 1) * 0,76 + 12,60]}{4} = 3,72 \text{ [m/Km]}$$

❖ **Dénivelée spécifique**

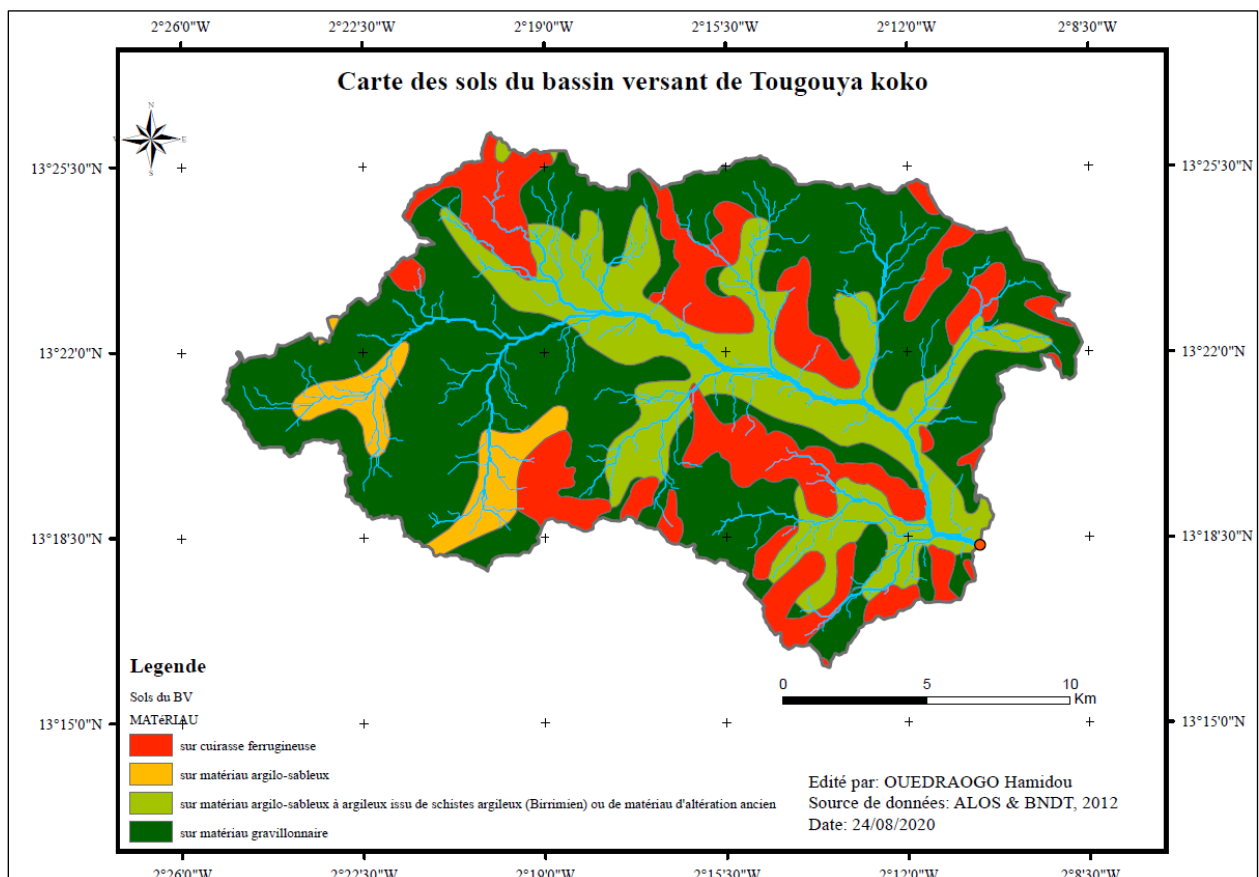
Elle permet la distinction des classes de relief du bassin versant et s'exprime par la relation :

$Ds[m] = I_g * \sqrt{S} = 3,72 * \sqrt{321,31} = 66,62m$. On a $50 m < D_s < 100 m$, le relief est donc **modéré**.

❖ Densité de drainage

Il s'obtient par la relation : $D_d = \frac{\text{Long. du réseau hydrographique}}{S} = \frac{366,24}{321,31} = 1,14$

❖ Classe d'infiltration du bassin versant



■ Carte des sols du bassin versant

L'analyse des sols du bassin versant nous permet de placer notre bassin versant dans la classe des bassins versants relativement imperméables **RI (P3)**

❖ **Aspect du réseau hydrographique** : Le réseau hydrographique est de forme dendritique

❖ **Pente longitudinale du Bassin versant**

Elle a été calculée suivant la formule simplifiée de GRESILLON

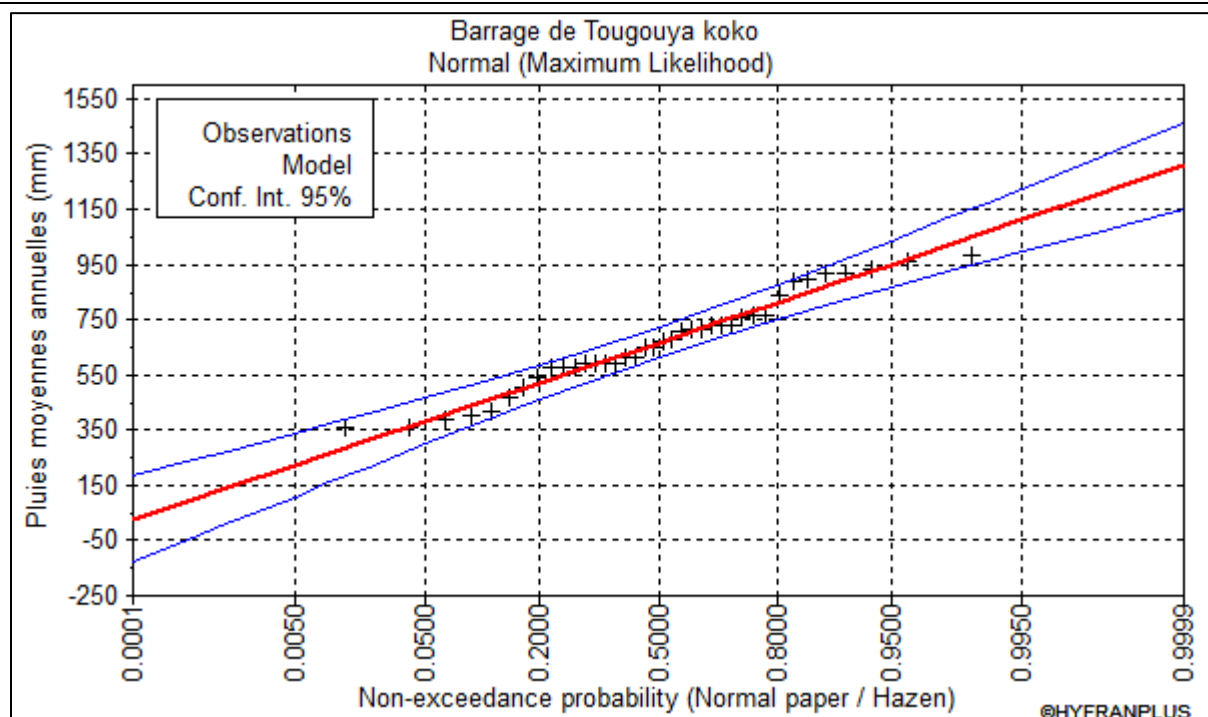
$$I_{BV}[m/km] = \frac{26}{\sqrt{S}} = \frac{26}{\sqrt{321,31}} = 1,45$$

➤ **Analyse fréquentielle des pluies**

L'analyse fréquentielle des pluies a été réalisée avec le logiciel HyfranPlus. Deux méthodes ont été utilisées pour l'analyse fréquentielle des pluies : la méthode de Gauss pour les pluies moyennes annuelles (1980-2017) et la méthode de Gumbel pour les pluies maximales journalières (1980-2017)

▪ *Ajustement des pluies moyennes annuelles par la méthode de GAUSS*

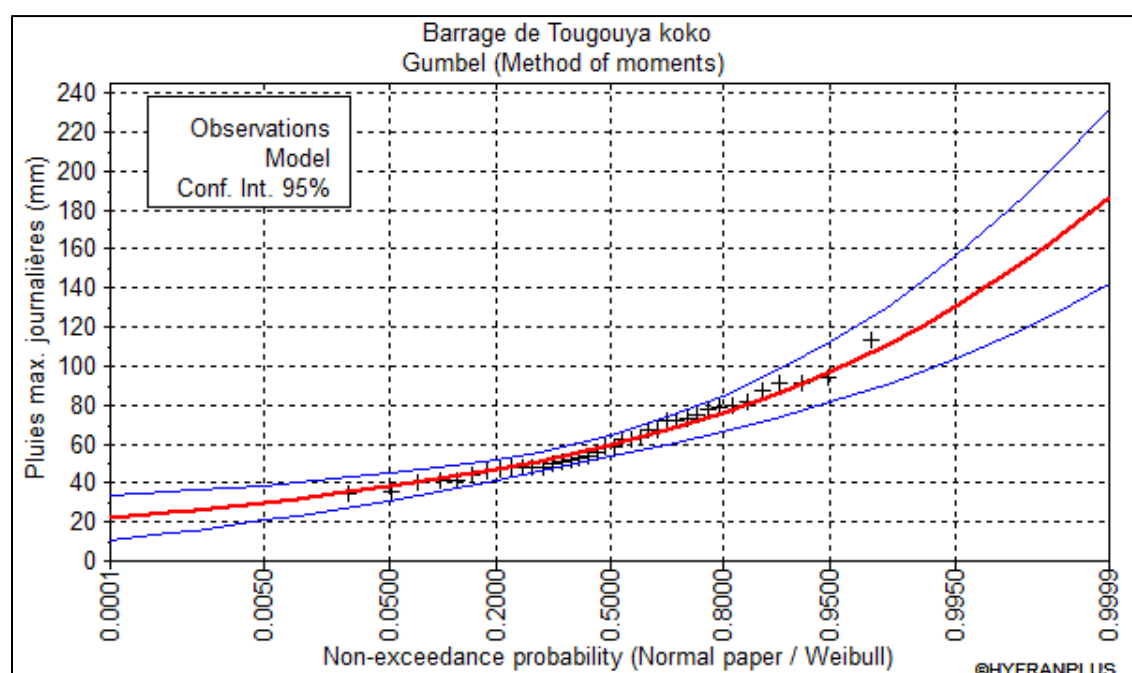
Barrage de Tougouya					
Results of the fitting					
Normal (Maximum Likelihood)					
Number of observations					
Parameters					
mu	667.421053				
sigma	172.122306				
Quantiles					
q = F(X) : non-exceedance probability					
T = 1/(1-q)					
T	q	XT	Standard	Confidence interval	
10000.0	0.9999	1307.6	79.481	1151.8	1463.4
2000.0	0.9995	1233.8	71.520	1093.6	1374.0
1000.0	0.9990	1199.4	67.849	1066.4	1332.4
200.0	0.9950	1110.8	58.624	995.92	1225.8
100.0	0.9900	1067.9	54.287	961.49	1174.3
50.0	0.9800	1021.0	49.689	923.58	1118.4
20.0	0.9500	950.60	43.166	865.98	1035.2
10.0	0.9000	888.04	37.912	813.71	962.36
5.0	0.8000	812.25	32.605	748.34	876.17
3.0	0.6667	741.48	29.219	684.20	798.76
2.0	0.5000	667.42	27.922	612.68	722.16
1.4286	0.3000	577.23	29.826	518.76	635.70
1.2500	0.2000	522.59	32.605	458.67	586.51
1.1111	0.1000	446.81	37.912	372.48	521.13
1.0526	0.0500	384.24	43.166	299.62	468.87
1.0204	0.0200	313.85	49.689	216.44	411.26
1.0101	0.0100	266.93	54.287	160.50	373.35
1.0050	0.0050	223.99	58.624	109.07	338.92
1.0010	0.0010	135.47	67.849	2.4617	268.48
1.0005	0.0005	101.01	71.520	-39.199	241.21
1.0001	0.0001	27.277	79.481	-128.54	183.09



- Représentation graphique de l'ajustement des pluies moyennes annuelles par la méthode de GAUSS
- Ajustement des pluies maximales journalières par la méthode de GUMBEL

Barrage de Tougouya					
Results of the fitting					
Gumbel (Method of moments)					
Number of					
Parameters					
u	53.884192				
alpha	14.424998				
Quantiles					
q = F(X) : non-exceedance					
T = 1/(1-q)					
T	q	XT	Standard	Confidence interval	
10000.0	0.9999	187	23.0	142	232
2000.0	0.9995	164	19.0	126	201
1000.0	0.9990	154	17.4	120	188
200.0	0.9950	130	13.4	104	157
100.0	0.9900	120	11.8	97.2	143
50.0	0.9800	110	10.1	90.4	130
20.0	0.9500	96.7	7.92	81.2	112
10.0	0.9000	86.3	6.27	74.1	98.6
5.0	0.8000	75.5	4.64	66.4	84.6

3.0	0.6667	66.9	3.50	60.0	73.8
2.0	0.5000	59.2	2.75	53.8	64.6
1.4286	0.3000	51.2	2.53	46.2	56.2
1.2500	0.2000	47.0	2.69	41.7	52.3
1.1111	0.1000	41.9	3.12	35.7	48.0
1.0526	0.0500	38.1	3.53	31.1	45.0
1.0204	0.0200	34.2	4.02	26.3	42.1
1.0101	0.0100	31.9	4.34	23.3	40.4
1.0050	0.0050	29.8	4.63	20.8	38.9
1.0010	0.0010	26.0	5.18	15.8	36.2
1.0005	0.0005	24.6	5.39	14.1	35.2
1.0001	0.0001	21.9	5.81	10.5	33.2



Représentation graphique de l'ajustement des pluies maximales journalières par la méthode de GUMBEL

➤ Prédétermination des crues

La détermination des crues décennale est réalisée suivant les méthodes ORSTOM et CIEH. La méthodologie de calcul est décrite dans le manuel de détermination des crues et apports de la FAO.

❖ Méthode ORSTOM

Détermination du coefficient d'abattement A

Il se détermine par la relation : $A = 1 - \left[\frac{(161 - 0,042 * \overline{Pan})}{1000} \right] * \log S$

$$A = 1 - \left[\frac{(161 - 0,042 * 667,42)}{1000} \right] * \log 321,31 = 0,67$$

Estimation du coefficient de ruissellement décennal Kr_{10}

Pour une pluie maximale journalière de fréquence décennale P_{10} différente de 70 et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissellement Kr_{10} est faite par interpolation linéaire entre les valeurs Kr_{70} et Kr_{100} .

$$Kr_{70} \text{ ou } Kr_{100} = S * \frac{a}{(s + b)} + c \quad \text{S la superficie en Km}^2$$

Les variables a, b et c ont été obtenues à partir d'un tableau du manuel de détermination des crues et apports de la FAO. Ces variables dépendent de la zone climatique, la taille du Bassin versant, la classe d'infiltrabilité et l'indice global de pente du bassin versant.

Synthèse de calcul du coefficient de ruissellement

Igcor=3	a	b	c	Kr		
Kr70	164	17	10,5	10,99		
Kr100	250	20	12	12,73		
Igcor=7	a	b	c	Kr		
Kr70	239	17,7	14,5	15,21		
Kr100	300	20	15	15,88		
Igcor=3	Kr70		Igcor=3	Kr100	P10=70	Kr10
3	10,99		3	12,73	70	11,75
Igcor=3,72	Kr70		Igcor=3,72	Kr100	P10=86,30	Kr10
3,72	11,75		3,72	13,30	86,30	12,59
Igcor=7	Kr70		Igcor=7	Kr100	P10=100	Kr10
7	15,21		7	15,88	100	13,30

Le temps de base Tb_{10}

La valeur du temps de base est obtenue par interpolation linéaire entre les valeurs de l'indice de pente (3 et 7) encadrant l'indice de pente du bassin versant étudié. Il est calculé à partir de la formule suivante : $Tb_{10} = a * S^n + b$

Les variables a, b et c ont été obtenues à partir d'un tableau du manuel de détermination des crues et apports de la FAO. Ces variables dépendent de la zone climatique, la taille du Bassin versant, la classe d'infiltrabilité et l'indice global de pente du bassin versant

Synthèse de calcul du temps de base

Igcor	a	b	n	Tb
3	250,00	300	0,35	2183,17
7	126	100	0,35	1049,12
Igcor=3	Tb1			
3	2 183,17			

Igcor=3,72	Tb(min)	
3,72	1 978,40	
Igcor=7	Tb2	
7	1 049,12	

En récapitulatif on a les résultats suivants :

Synthèse du calcul de la crue décennale par la méthode ORSTOM

Désignation		Formules	Unités	Valeurs
Superficie	S	-	km ²	321,31
Pluie décennale journalière	P10	Ajustement de Gumbel	mm	86,30
Pluie moyenne annuelle	Pan	Moyenne des pluies annuelle	mm	667,42
Coefficient d'Abattement	A	$A = 1 - \left[\frac{(161 - 0,042 * Pan(mm))}{1000} \right] * \log S(km^2)$	Sans unité	0,67
Coefficient de ruissellement	Kr10	Interpolation	Sans unité	12,59
Coefficient de pointe décennale	α_{10}	-	Sans unité	2,6
Temps de base	Tb10	Interpolation	min	1 978,40
Pluie moyenne décennale	Pm10	A * P10	mm	57,55
Débit maximum de ruissèlement	Qr10	$Q_{r10} = \frac{1000 * A * P_{10}(mm) * K_{r10} * \alpha_{10} * S(Km^2)}{Tb_{10}(s)}$	m ³ /s	50,84
Débit d'écoulement retardé	Qret10	$\left(\frac{0,03 + 0,06}{2} \right) * Q_{r10}$	m ³ /s	2,29
Volume d'écoulement retardé	Vret10	$Q_{r10} * 0,045 * Tb_{10}(s)$	m ³	271 591,29
Volume ruisselé	Vr10	$1000 * Pm10 (mm) * Kr10 * S(Km^2)$	m ³	2 321 293,04
Volume de crue total	Vc10	$Vr_{10} + Vret10$	m ³	2 592 884,32
Temps de montée	Tm10	Interpolation	min	726,39
Le débit de pointe (pluie décennale orstorm)	Q10	$1,045 * Q_{r10}$	m ³ /s	53,13

❖ **Méthode CIEH**

La formule du CIEH est donnée par :

S : Superficie du Bassin Versant (Km²)

Pan Hauteur moyenne de précipitation annuelle (mm)

I_g Indice global de pente (m/Km)

Kr₁₀ Coefficient de ruissellement pour une crue décennale

Dd Densité de drainage

$$Q_{10} = a * S^S * \overline{Pan}^P * I_g^i * Kr_{10}^k * Dd^d$$

N° Equation	a	S= 320,31km ²	I _g = 3,72m/km	Kr10 = 12,69%	Q10 (m ³ /s)
39	0,41	0,425		0,923	49,33
40	0,254	0,462	0,101	0,976	49,41

➤ Coefficient de passage à la crue du projet par la méthode Gradex

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

Avec

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} * \frac{\left(\frac{Tb_{10}}{24}\right)^{0.12}}{Kr10}$$

Q_{100} Débit de crue décennale (m³/s)
 Q_{100} Débit de crue centennale (m³/s)
C Coefficient de passage de Q_{10} à Q_{100}
P10 Précipitation journalière correspondant à la période de retour 10 ans
P100 Précipitation journalière correspondant à la période de retour 100 ans
Tb est le temps de base en heures
Kr10 Coefficient de ruissèlement de la crue décennal en (fraction)

$$C = 1 + \frac{120 - 86,30}{86,30} * \frac{\left(\frac{1978,40}{24 * 60}\right)^{0.12}}{0,17} \text{ On a } C = 4,22$$

➤ Crue de rupture

$$Q_{Rupture} = 2 * L_{dev} * [R + 0,2]^{1,5} * 0,15 L_{digue}$$

L_{dev} : Longueur déversoir [m]
 L_{digue} : Longueur digue sans déversoir [m]
R : Revanche totale [m]

Calcul de la crue de rupture

Longueur du déversoir L (m)	Charge d'eau sur le seuil (m)	Revanche (m)	Revanche totale (m)	Longueur digue Ld (m)
110	0,80	1,00	1,80	966

$$Q_{Rupture} = 2 * 110 * [1,8 + 0,2]^{1,5} * 0,15 * 966 = 389,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ Hydrogramme de crue

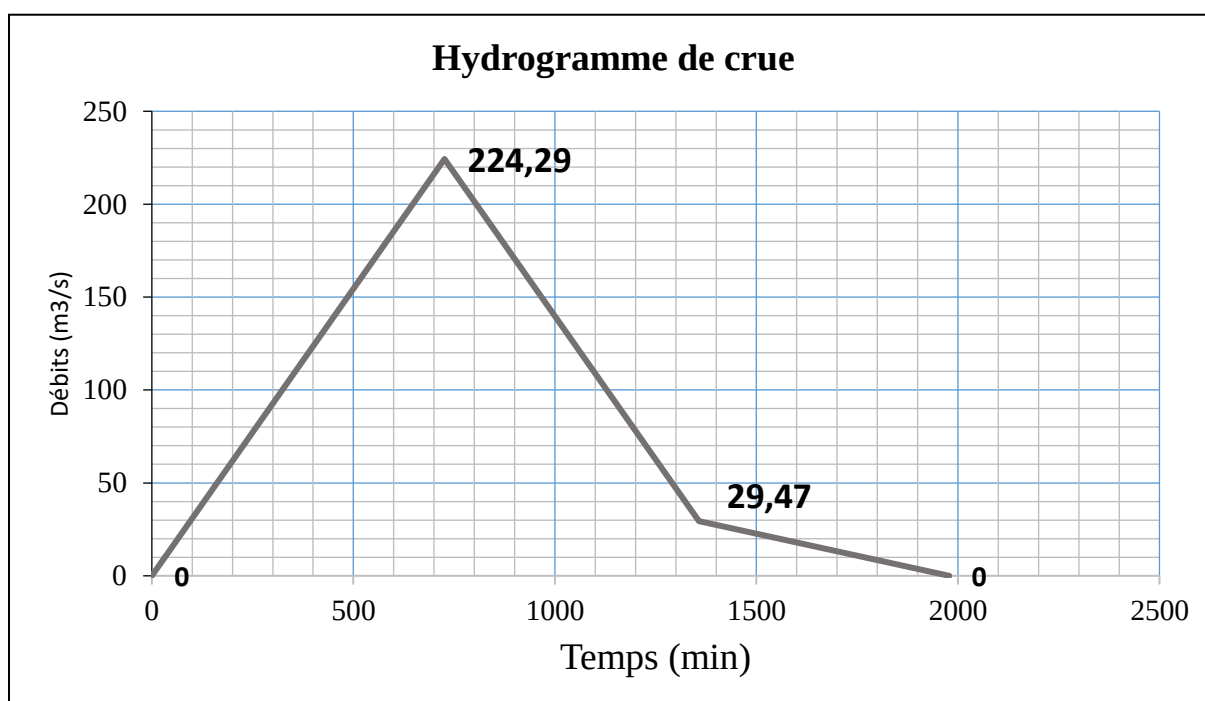
$$\frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{2}{\alpha_{10}} * \frac{T_{b10} - \alpha_{10} * T_{m10}}{T_{b10} - 2 * T_{m10}}$$

$$\frac{Q}{224,29} = \frac{2}{2,6} * \frac{1\ 978,40 - 2,6 * 726,39}{1\ 978,40 - 2 * 726,39} \rightarrow Q = 29,47$$

On a alors :

Données de représentation de l'hydrogramme de crue

Temps de base Tb10	1978,40	Minutes
Temps de montée Tm10	726,39	Minutes
Débit maximal Qmax	224,29	m ³ /s
Coefficient de pointe décennale α10	2,60	-
Débit de discontinuité Q	29,47	m ³ /s
Temps de début de discontinuité Tc	1 357,33	Minutes



Hydrogramme de crue

Annexe 2 : Etude de la retenue

➤ Calcul des apports liquides

Ces apports sont évalués par la méthode du déficit d'écoulement par la formule de Coûtagne et par la méthode empirique de RODIER

$$Ve = 10^3 * Kei * S * Pi \text{ et } Le = P - D$$

➤ Formule de Coûtagne

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

Avec

D : Déficit hydrique (m)

P : Pluie moyenne annuelle (mm)

$\bar{T}$: Température moyenne annuelle (°C)

$$P(m) \in \left[\frac{1}{8\lambda}; \frac{1}{2\lambda} \right] \text{ et } D(m) = P(m) - \lambda P(m)^2$$

λ : Coefficient de Coûtagne

Synthèse des apports liquides annuels par la méthode de COUTAGNE

Apports liquides par la méthode de COUTAGNE						
Fréquence	Pluviométrie (mm)	Température moyenne	λ	Ke	Superficie (Km ²)	Apports liquides (m ³)
Année médiane	642,548	28,23	0,21	0,14	321,31	30 024 392
Quinquennal sèche	527,7	28,23	0,21	0,08	321,31	21 017 074
Décennal sèche	457,20	28,23	0,21	0,10	312,31	15 012 196

➤ Méthode de Rodier

Choix du bassin type de Goudebo à Guemi (Burkina Faso) pour un bassin versant de 390 km² et pluviométrie médiane de 550 mm.

On obtient les lames d'eau écoulées sur le graphe ci-dessous.

Résultat de la lecture sur l'abaque

Fréquence	Lame d'eau écoulée (mm)	Log (Lmed)
Année moyenne	26	1,48
Quinquennale sèche	16	1,00
Décennale sèche	8	1,20

L'apport liquide est obtenu par la relation **$Ve = Le \text{ (mm)} * S(km^2) * 1000$**

Synthèse des apports liquides annuels par la méthode de RODIER

Fréquence	Période de retour (année)	Ke (%)	Superficie (Km ²)	Apports liquides (m ³)
Année moyenne	02 ans	4,05	321,31	8 587 298
Quinquennale sèche	5 ans	3,03	321,31	6 481 904
Décennal sèche	10 ans	1,75	321,31	3 740 705

➤ Calcul des pertes des pertes par dépôt solides

Les pertes sont celles dues aux dépôts solides, à l'infiltration dans la cuvette et à l'évaporation.

D : Dégradation spécifique annuelle (m³/Km² /an)

S : Superficie du Bassin Versant (Km²)

P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm)

V : Volume annuel de dépôts solides (m³/an)

h : Paramètre anthro=0,25

r : Paramètre morpho=0,25

- Formule de GOTTSCHALK : $D = 260 * 321,31^{-0.1}$
- Formule de GRESILLON $D = 700 * \left(\frac{667,42}{500}\right)^{-2.2} * 321,31^{-0.1}$
- Formule de KARAMBIRI : $D = 137 * \left(\frac{667,42}{700}\right)^{-2.02} * 321,31^{-0.05} * [0,25 + 1,13 * (0,25 + 0,25)^{1.15}]$

Synthèse du calcul des apports solides

Auteurs	D (m ³ /km ² /an)	V (m ³ /an)
GOTTSCHALK	462,95	148 286
GRESILLON	208,26	66 706,36
KARAMBIRI	89,35	28 619,06

Nous retiendrons les dépôts solides obtenus à partir de la formule de KARAMKIRI.

➤ Estimation des pertes par évaporation et infiltration, et simulation de l'utilisation de la retenue

Pour la période allant de 0 à 10 ans

Infiltration moyenne journalière : **3mm/j**

Superficie irriguée : **100 ha**

Pertes mensuelles par évaporation et par infiltration

	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai
Nbre de jours	30	31	31	29	31	30	31
Ebac (mm)	165,21	166,63	170,32	164,76	198,79	198,02	212,46
Eretenue (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	155,48	164,34
Infiltration (mm)	90,00	93,00	93,00	87,00	93,00	90,00	93,00
Total pertes (mm)	229,42	234,97	236,86	224,32	250,89	245,48	257,34

Estimation des besoins pastoraux

Espèces	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Asins
Effectifs Zone d'étude	900	1920	2580	270	330
Taux d'accroissement	2%	3%	3%	2%	2%
Consommation spécifique (l/j)	50	5	5	8	12
Durée du projet (années)	10				
Besoins mensuels	1645,64	387,05	520,10	78,99	144,82
Besoin mensuel total (m3)	2 776,59				
Besoin saisonnier total (m3)	22 212,75				

Besoins agricoles

L'évapotranspiration maximale est donnée par la relation $ETM = ETP * KC$

Les besoins bruts par la relation $BB = \frac{ETM - Pe}{e}$

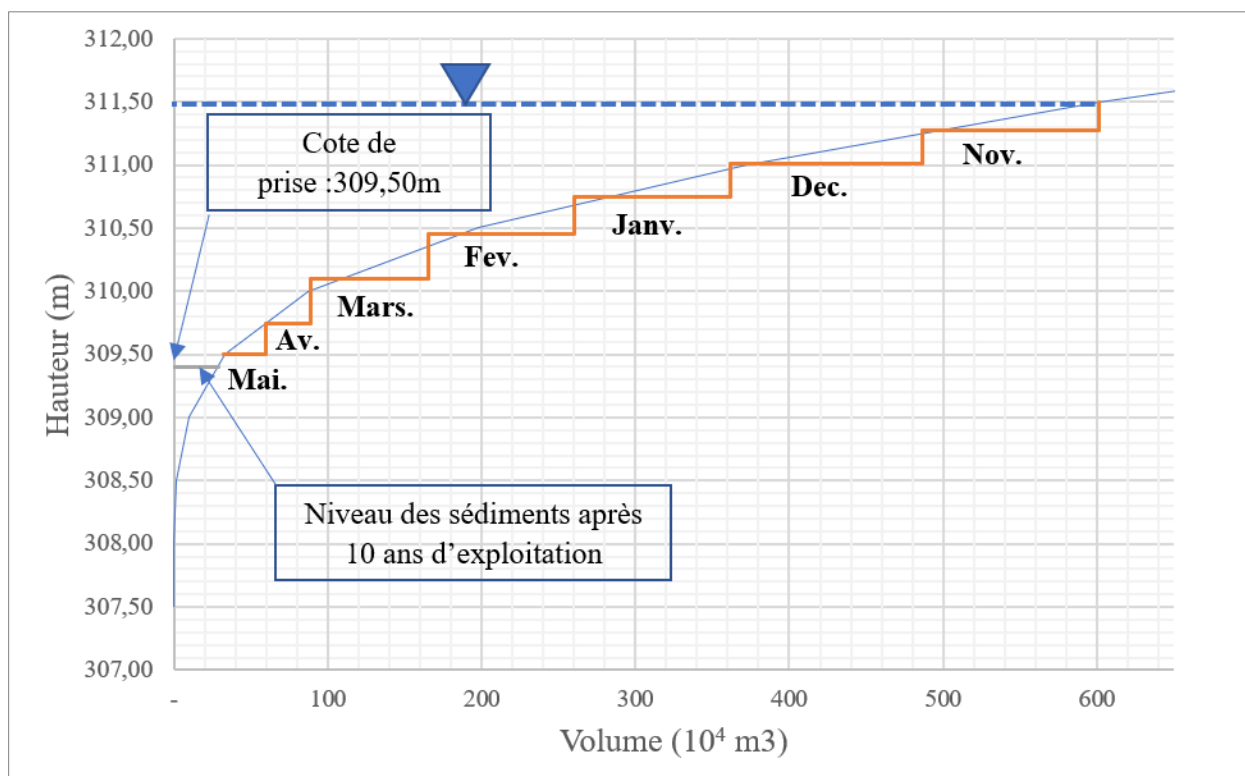
Nous avons retenu les cultures qui sont l'oignon, la tomate et l'aubergine pour la détermination des besoins.

Estimation des besoins agricoles

Cultures	Paramètres	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai
	Durée	30	31	31	29	31	30	31
	Pluie moy.	1,12	0,00	0,09	0,08	1,48	9,57	48,57
	ETP (mm/j)	4,65	4,58	4,64	4,90	5,09	5,18	5,30
	Pe(mm/j)	0,67	0,00	0,05	0,05	0,89	5,74	29,14
	Efficienc	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,6	0,6
Oignon	kc équivalent	0,60	0,96	1,05	0,97	0,85	-	-
	ETM (mm/j)	2,81	4,40	4,87	4,77	4,33	-	-
	BN (mm/j)	2,14	4,40	4,82	4,72	3,44		
	BB (mm/mois)	106,84	227,16	249,07	228,13	177,79	-	-
Tomate	kc équivalent	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	-	-
	ETM (mm/j)	2,09	3,43	4,72	5,07	4,07	-	-
	BN (mm/j)	1,42	3,43	4,67	5,02	3,19		
	BB (mm/mois)	70,86	177,47	241,08	242,53	6,59	-	-
Aubergine	kc équivalent	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	-	-
	ETM (mm/j)	2,09	3,43	4,72	5,07	4,07	-	-
	BN (mm/j)	1,42	3,43	4,67	5,02	3,19		
	BB (mm/mois)	70,86	177,47	241,08	242,53	164,64	-	-

Récapitulatif des pertes et des besoins une superficie irriguée de 100 ha.

Nbre de jours	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai
Evaporation (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	164,34	164,34
Infiltration (mm)	90,00	93,00	93,00	87,00	93,00	90,00	93,00
Total Pertes (m)	0,23	0,23	0,24	0,22	0,25	0,25	0,26
Besoins d'irrigation (m3)	106 839,62	227 158,52	249 069,95	228 126,28	177 794,14	0	0
Besoins pastoraux (m3)	2 776,59	2 869,15	2 776,59	2 684,04	2 869,15	2 776,59	2 869,15
Total des besoins	109 616,21	230 027,67	251 846,55	230 810,32	180 663,28	2 776,59	2 869,15



Courbe d'exploitation de la retenue

Pour la période allant de 10 à 20 ans

Infiltration moyenne journalière : **1,50 mm/j**

Superficie irriguée : **100 ha**

Pertes mensuelles par évaporation et par infiltration

	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai
Nbre de jours	30	31	31	29	31	30	31
Ebac (mm)	165,21	166,63	170,32	164,76	198,79	198,02	212,46
Eretenue (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	155,48	164,34
Infiltration (mm)	45,00	46,50	46,50	43,50	46,50	45,00	46,50
Total pertes (mm)	184,42	188,47	190,36	180,82	204,39	200,48	210,84

Estimation des besoins pastoraux

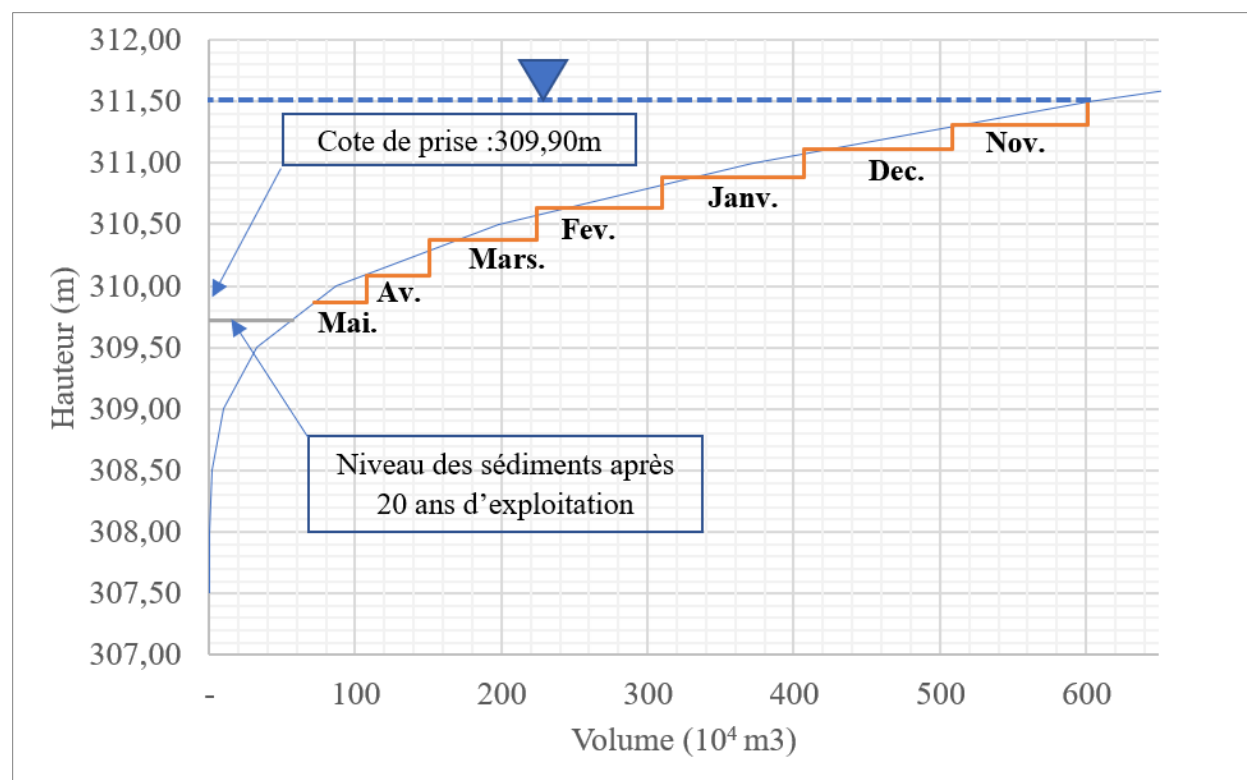
Espèces	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Asins
Effectifs Zone d'étude	900	1920	2580	270	330
Taux d'accroissement	2%	3%	3%	2%	2%
Consommation spécifique (l/j)	50	5	5	8	12
Durée du projet (années)	20				
Besoins mensuels	2006,03	520,16	698,97	96,29	176,53
Besoin mensuel total (m3)	3 497,97				
Besoin saisonnier total (m3)	27 983,79				

Estimation des besoins agricoles

Cultures	Paramètres	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai
	Durée	30	31	31	29	31	30	31
	Pluie moy. Mens (mm)	1,12	0,00	0,09	0,08	1,48	9,57	48,57
	ETP (mm/j)	4,65	4,58	4,64	4,90	5,09	5,18	5,30
	Pe(mm/j)	0,674	0	0,052	0,05	0,888	5,74	29,14
	Efficience	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Oignon	kc équivalent	0,60	0,96	1,05	0,97	0,85	-	-
	ETM (mm/j)	2,81	4,40	4,87	4,77	4,33	-	-
	BN (mm/j)	2,14	4,40	4,82	4,72	3,44		
	BB (mm/mois)	106,84	227,16	249,07	228,13	177,79	-	-
Tomate	kc équivalent	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	-	-
	ETM (mm/j)	2,09	3,43	4,72	5,07	4,07	-	-
	BN (mm/j)	1,42	3,43	4,67	5,02	3,19		
	BB (mm/mois)	70,86	177,47	241,08	242,53	6,59	-	-
Aubergine	kc équivalent	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	-	-
	ETM (mm/j)	2,09	3,43	4,72	5,07	4,07	-	-
	BN (mm/j)	1,42	3,43	4,67	5,02	3,19		
	BB (mm/mois)	70,86	177,47	241,08	242,53	164,64	-	-

Récapitulatif des pertes et des besoins une superficie irriguée de 100 ha

Nbre de jours	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai
Evaporation (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	164,34	164,34
Infiltration (mm)	45,00	46,50	46,50	43,50	46,50	45,00	46,50
Total Pertes (m)	0,18	0,19	0,19	0,18	0,20	0,21	0,21
Besoins d'irrigation (m3)	106 839,62	227 158,52	249 069,95	228 126,28	177 794,14	0	0
Besoins pastoraux (m3)	3 497,97	3 614,57	3 497,97	3 381,37	3 614,57	3 497,97	3 614,57
Total besoins	110 337,59	230 773,09	252 567,93	231 507,66	181 408,71	3 497,97	3 614,57



Courbe d'exploitation de la retenue

Pour la période allant de 20 à 30 ans

Infiltration moyenne journalière : **1,50 mm/j**

Pertes mensuelles par évaporation et par infiltration

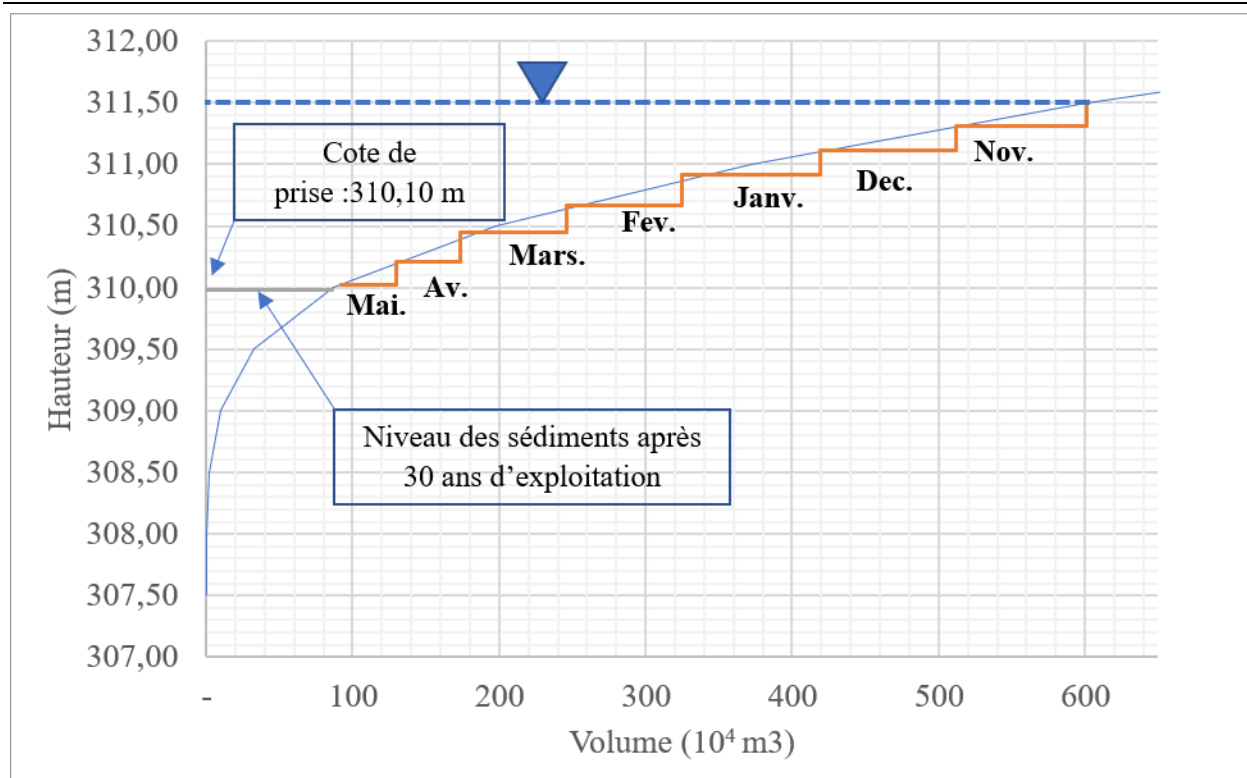
	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Nbre de jours	30	31	31	29	31	30	31
Ebac (mm)	165,21	166,63	170,32	164,76	198,79	198,02	212,46
Eretenue (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	155,48	164,34
Infiltration (mm)	45,00	46,50	46,50	43,50	46,50	45,00	46,50
Total pertes (mm)	184,42	188,47	190,36	180,82	204,39	200,48	210,84

Estimation des besoins agricoles

Cultures	Paramètres	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai
	Durée	30	31	31	29	31	30	31
	Pluie moy. Mens (mm)	1,12	0,00	0,09	0,08	1,48	9,57	48,57
	ETP (mm/j)	4,65	4,58	4,64	4,90	5,09	5,18	5,30
	Pe(mm/j)	0,674	0	0,052	0,05	0,888	5,74	29,14
	Efficienc	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Oignon	kc équivalent	0,60	0,96	1,05	0,97	0,85	-	-
	ETM (mm/j)	2,81	4,40	4,87	4,77	4,33	-	-
	BN (mm/j)	2,14	4,40	4,82	4,72	3,44		
	BB (mm/mois)	106,84	227,16	249,07	228,13	177,79	-	-
Tomate	kc équivalent	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	-	-
	ETM (mm/j)	2,09	3,43	4,72	5,07	4,07	-	-
	BN (mm/j)	1,42	3,43	4,67	5,02	3,19		
	BB (mm/mois)	70,86	177,47	241,08	242,53	6,59	-	-
Aubergine	kc équivalent	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	-	-
	ETM (mm/j)	2,09	3,43	4,72	5,07	4,07	-	-
	BN (mm/j)	1,42	3,43	4,67	5,02	3,19		
	BB (mm/mois)	70,86	177,47	241,08	242,53	164,64	-	-

Récapitulatif des pertes et des besoins pour une superficie irriguée de 60 ha.

Nbre de jours	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai
Evaporation (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	164,34	164,34
Infiltration (mm)	45,00	46,50	46,50	43,50	46,50	45,00	46,50
Total Pertes (m)	0,18	0,19	0,19	0,18	0,20	0,21	0,21
Besoins d'irrigation (m3)	64 103,77	136 295,11	149 441,97	136 875,77	106 676,48	0	0
Besoins pastoraux (m3)	4 416,31	4 563,52	4 416,31	4 269,10	4 563,52	4 416,31	4 563,52
Total besoins	68 520,08	140 858,63	153 858,28	141 144,87	111 240,00	4 416,31	4 563,52



Courbe d'exploitation de la retenue

Pour la période allant de 30 à 40 ans

Infiltration moyenne journalière : **1,50 mm/j**

Superficie exploitée : **45 ha**

Pertes mensuelles par évaporation et par infiltration

	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Nbre de jours	30	31	31	29	31	30	31
Ebac (mm)	165,21	166,63	170,32	164,76	198,79	198,02	212,46
Eretenue (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	155,48	164,34
Infiltration (mm)	45,00	46,50	46,50	43,50	46,50	45,00	46,50
Total pertes (mm)	184,42	188,47	190,36	180,82	204,39	200,48	210,84

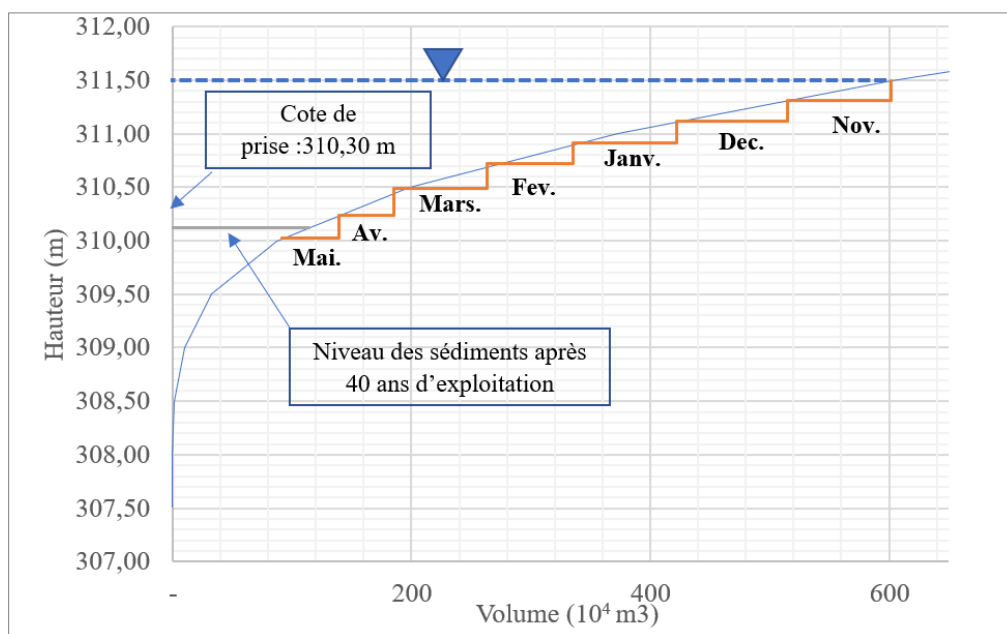
Estimation des besoins agricoles

Cultures	Paramètres	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai
	Durée	30	31	31	29	31	30	31
	Pluie moy. Mens (mm)	1,12	0,00	0,09	0,08	1,48	9,57	48,57
	ETP (mm/j)	4,65	4,58	4,64	4,90	5,09	5,18	5,30
	Pe(mm/j)	0,674	0	0,052	0,05	0,888	5,74	29,14
	Efficience	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Oignon	kc équivalent	0,60	0,96	1,05	0,97	0,85	-	-
	ETM (mm/j)	2,81	4,40	4,87	4,77	4,33	-	-
	BN (mm/j)	2,14	4,40	4,82	4,72	3,44		

Cultures	Paramètres	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai
	BB (mm/mois)	106,84	227,16	249,07	228,13	177,79	-	-
Tomate	kc équivalent	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	-	-
	ETM (mm/j)	2,09	3,43	4,72	5,07	4,07	-	-
	BN (mm/j)	1,42	3,43	4,67	5,02	3,19		
	BB (mm/mois)	70,86	177,47	241,08	242,53	6,59	-	-
Aubergine	kc équivalent	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	-	-
	ETM (mm/j)	2,09	3,43	4,72	5,07	4,07	-	-
	BN (mm/j)	1,42	3,43	4,67	5,02	3,19		
	BB (mm/mois)	70,86	177,47	241,08	242,53	164,64	-	-

Récapitulatif des pertes et des besoins pour une superficie irriguée de 45 ha.

Nbre de jours	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai
Evaporation (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	164,34	164,34
Infiltration (mm)	45,00	46,50	46,50	43,50	46,50	45,00	46,50
Total Pertes (m)	0,18	0,19	0,19	0,18	0,20	0,21	0,21
Besoins d'irrigation (m3)	48 077,83	102 221,33	112 081,48	102 656,83	80 007,36	0	0
Besoins pastoraux (m3)	5 588,13	5 774,40	5 588,13	5 401,85	5 774,40	5 588,13	5 774,40
Total besoins	53 665,95	107 995,73	117 669,60	108 058,68	85 781,76	5 588,13	5 774,40



Courbe d'exploitation de la retenue

Pour la période allant de 40 à 50 ans

Infiltration moyenne journalière : **1,50 mm/j**

Superficie exploitée : **45 ha**

Pertes mensuelles par évaporation et par infiltration

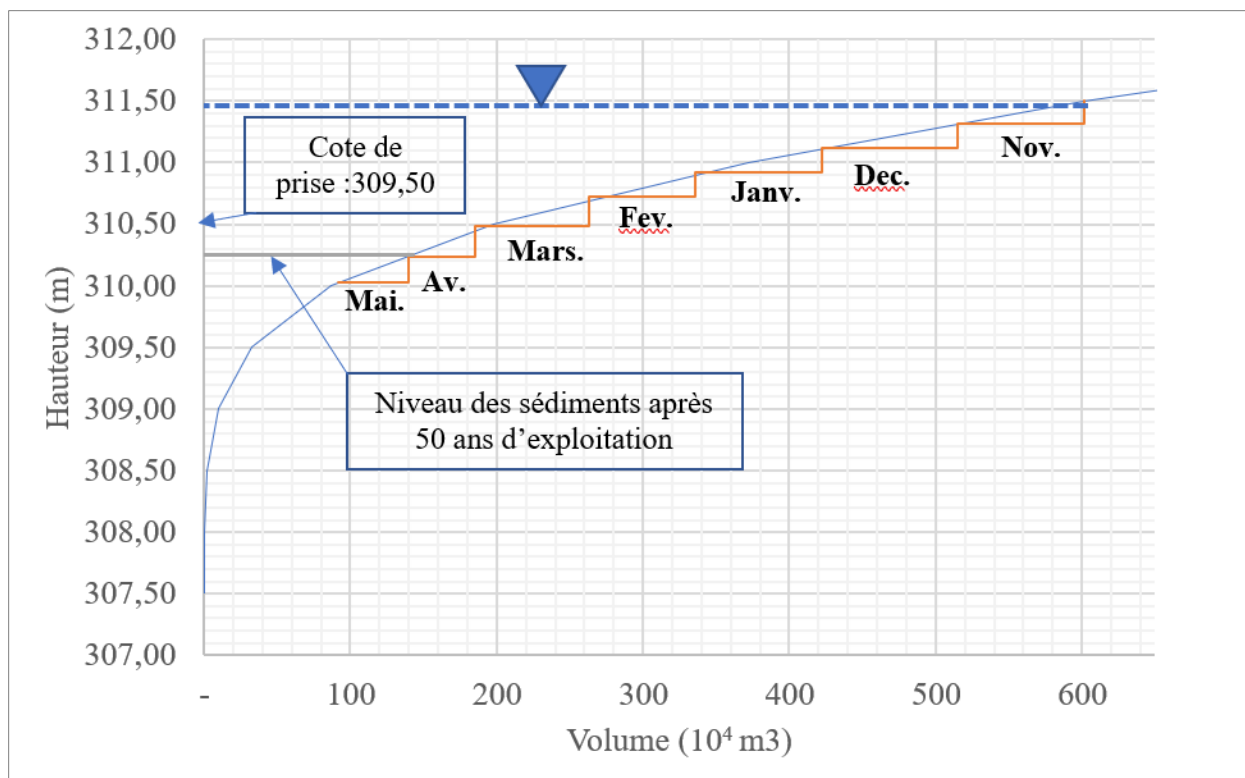
	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Nbre de jours	30	31	31	29	31	30	31
Ebac (mm)	165,21	166,63	170,32	164,76	198,79	198,02	212,46
Eretenue (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	155,48	164,34
Infiltration (mm)	45,00	46,50	46,50	43,50	46,50	45,00	46,50
Total pertes (mm)	184,42	188,47	190,36	180,82	204,39	200,48	210,84

Estimation des besoins agricoles

Cultures	Paramètres	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai
	Durée	30	31	31	29	31	30	31
	Pluie moy. Mens (mm)	1,12	0,00	0,09	0,08	1,48	9,57	48,57
	ETP (mm/j)	4,65	4,58	4,64	4,90	5,09	5,18	5,30
	Pe(mm/j)	0,674	0	0,052	0,05	0,888	5,74	29,14
	Efficiencie	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Oignon	kc équivalent	0,60	0,96	1,05	0,97	0,85	-	-
	ETM (mm/j)	2,81	4,40	4,87	4,77	4,33	-	-
	BN (mm/j)	2,14	4,40	4,82	4,72	3,44		
	BB (mm/mois)	106,84	227,16	249,07	228,13	177,79	-	-
Tomate	kc équivalent	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	-	-
	ETM (mm/j)	2,09	3,43	4,72	5,07	4,07	-	-
	BN (mm/j)	1,42	3,43	4,67	5,02	3,19		
	BB (mm/mois)	70,86	177,47	241,08	242,53	6,59	-	-
Aubergine	kc équivalent	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	-	-
	ETM (mm/j)	2,09	3,43	4,72	5,07	4,07	-	-
	BN (mm/j)	1,42	3,43	4,67	5,02	3,19		
	BB (mm/mois)	70,86	177,47	241,08	242,53	164,64	-	-

Récapitulatif des pertes et des besoins pour une superficie irriguée de 45 ha.

Nbre de jours	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai
Evaporation (mm)	139,42	141,97	143,86	137,32	157,89	164,34	164,34
Infiltration (mm)	45,00	46,50	46,50	43,50	46,50	45,00	46,50
Total Pertes (m)	0,18	0,19	0,19	0,18	0,20	0,21	0,21
Besoins d'irrigation (m3)	48 077,83	102 221,33	112 081,48	102 656,83	80 007,36	0	0
Besoins pastoraux (m3)	7 086,96	7 323,19	7 086,96	6 850,72	7 323,19	7 086,96	7 323,19
Total besoins	55 164,79	109 544,52	119 168,44	109 507,55	87 330,55	7 086,96	7 323,19



Courbe d'exploitation de la retenue

Annexe 3 : Dimensionnement de la digue et des ouvrages annexes

Le dimensionnement de ces ouvrages consiste à la détermination de leurs dimensions géométriques vérifiant un certain nombre de conditions.

➤ Dimensionnement de la digue

La vitesse du vent utilisé dans la formule de MOLITOR est de **14,20 m/s** (fournie par l'ANAM)

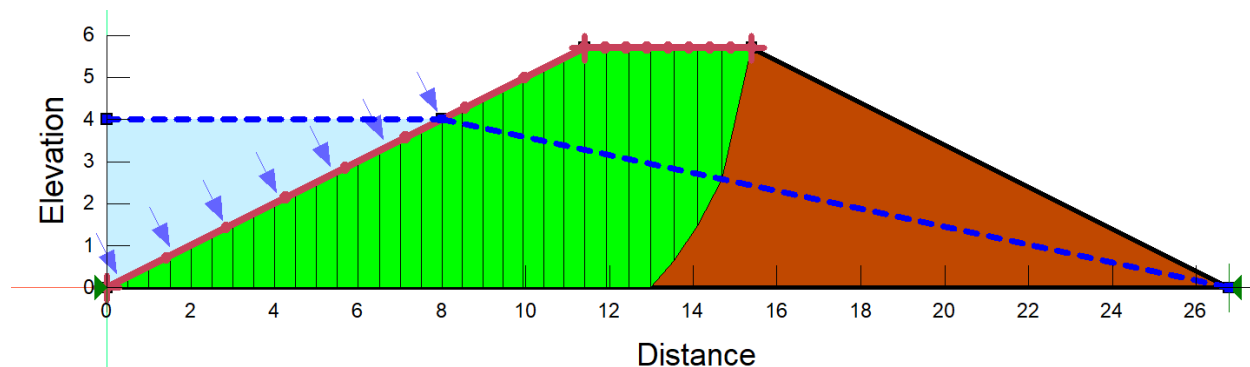
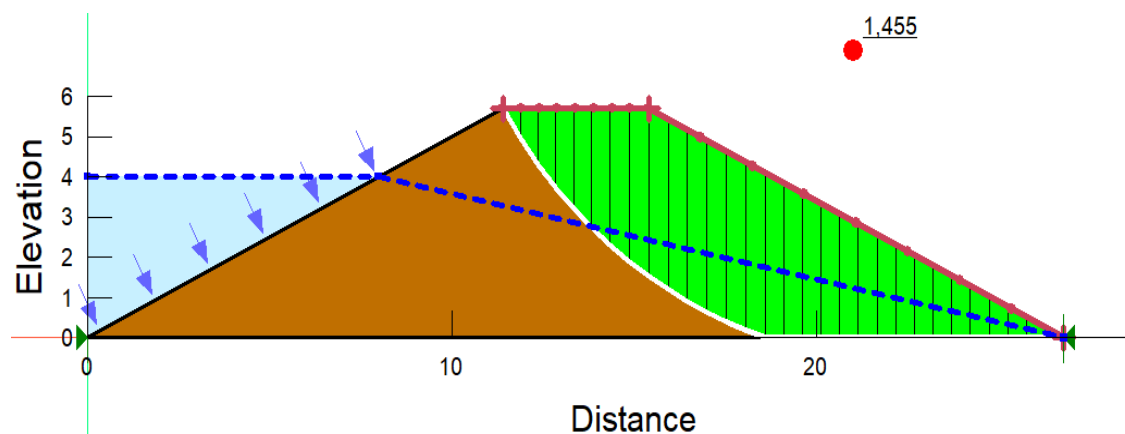
Formules de calcul et résultats du calcul de la revanche

	Formules	Unités	Valeurs
Hauteur des vagues			
MALLET ET PACQUANT	$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \sqrt{f}$	m	1,35
MOLITOR	$h_v = 0,76 + 0,032 \sqrt{Uf} - 0,26 \sqrt{f}$	m	0,93
STEVENSON	$h_v = 0,75 + 0,34 \sqrt{f} - 0,36 \sqrt[4]{f}$	m	1,04
Vitesse de propagation des vagues			
MALLET ET PACQUANT	$v_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} h_v$	m/s	2,12
GAILLARD	$v_v = \frac{3}{2} + 2 \times h_v$	m/s	3,36
Revanche			
GAILLARD	$R = 0,75 \times h_v + \frac{v_v^2}{2g}$	m	1,27
MALLET ET PACQUANT	$R = A \left[h_v + \frac{v_v^2}{2g} \right]$	m	1,58
Revanche libre retenue		m	1,00

Formules de calcul et résultats du calcul de la hauteur de digue

Hauteur de la digue : H_d			
Côte crête		313,30	m
Hauteur normale retenue eaux	H_r	3,30	m
Charge maximale du déversoir	h	0,80	m
Hauteur des vagues	h_v	0,93	m
Revanche	R	1,00	m
Hauteur de la digue	$H_d = H_r + h + R$	5,10	m
Largeur de crête : L_c			
Largeur de crête avec KNAPPEN	$1,65 \sqrt{H_d}$	3,48	m
Largeur de crête avec PREECE	$L_c = 1,1 \sqrt{H_d} + 1$	3,72	m
La largeur de crête retenue		4,00	m
Largeur en base : L_f			
Fruit de berge amont	m_1	2,5H/1V	-
Fruit de berge Aval	m_2	2,5H/1V	-
Largeur à la base	$L_f = L_c + (m_1 + m_2) \times H_d$	29,50	m

Vérification de la stabilité des pentes



Les calculs effectués à l'aide du logiciel Geoslope donnent un facteur de sécurité minimal égale à 1,455. La condition selon la méthode de Bishop est ainsi satisfaite. Nous maintiendrons donc la pente de 2,5H/1V pour les talus amont et aval

Calcul de l'épaisseur des enrochements

L'épaisseur de l'enrochement est donnée par la relation $e = 1,5 D_{50}$

Désignation	Valeurs
Hauteur des vagues h_v (m)	0,93
D_{50}	0,30
Epaisseur des enrochements e (m)	0,45
Epaisseur minimale (m)	0,45
Epaisseur retenue des enrochements amont (cm)	45
Epaisseur retenue des enrochements aval (cm)	30

➤ Dimensionnement du bassin de dissipation

Calcul du tirant d'eau normal

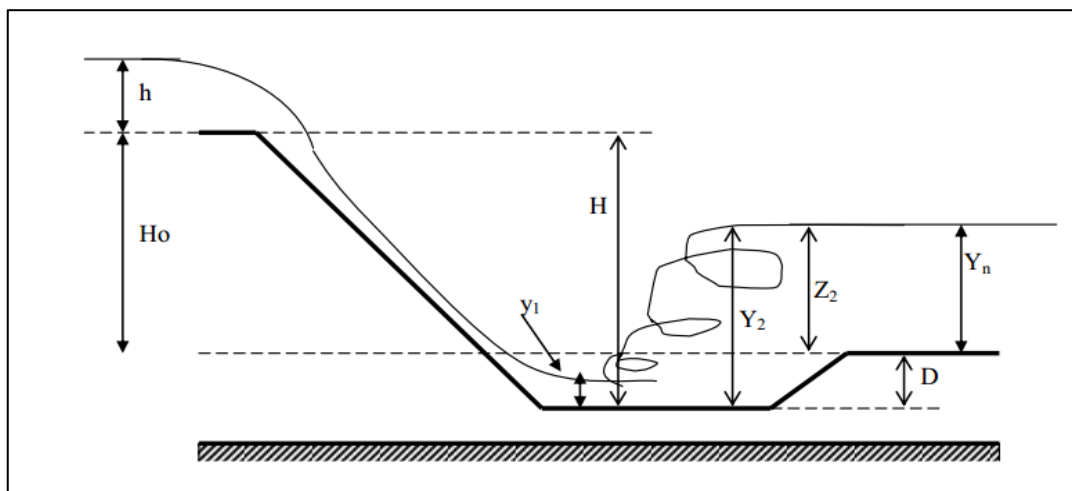
Son dimensionnement consiste à la détermination de sa longueur (L) et sa profondeur (D)

Le tirant d'eau normal y_n 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 : $K_s = 50$
- Pente du canal : $I = 0,145\%$
- $m=2$

On a

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



Bassin de dissipation type Ressaut.

Choix du type de bassin de dissipation et ses caractéristiques.

Le type de bassin a été choisi en fonction du nombre de Froude (F) et de la vitesse de l'eau à l'entrée du bassin v_1 . Nous procéderons par la résolution d'un système d'équations issues de la relation de BERNOLLI pour déterminer le tirant d'eau y_1 et la vitesse v_1 à l'entrée du ressaut. Soit le système d'équation de la vitesse et du tirant d'eau ci-dessous.

Tableau récapitulatif du dimensionnement du bassin de dissipation

	Unités	Valeurs
h	m	0,80
Q	m ³ /s	135,89
Ldev	m	110,00
q	m ³ /s/ml	1,24
Yn	m	0,77
Yn/Ho	-	0,24
h/Ho	-	0,25
D/Ho	-	0,20
D (m)	m	0,65
H	m	3,90
Vo	m/s	1,54
V1	m/s	8,54
Y1	m	0,14
F	-	7,17
Y2	m	1,40
L/Y2	-	2,60
L (m)	m	3,63

Les dimensions des éléments du bassin de dissipation (blocs de chute, blocs chicanes, seuil terminal et la longueur du bassin seront déterminées à partir d'abaques.

Tableau récapitulatif des dimensions du bassin de dissipation et de ses éléments constitutifs

Longueur du bassin de dissipation			
Lb / Y2	Lu sur abaque	2,6	m/m
Longueur du bassin de dissipation	Lb	3,1	m
Blocs chicanes			
H2/Y1	Valeurs lu abaque	1,9	
Hauteur	H2	0,40	m
Largeur	0,75*h2	0,30	m
Espacement	0,75*h2	0,30	m
Epaisseur en crête	0,2*h2	0,10	m
D entre les 2 blocs	0,8*y2	1,00	m
Pente blocs chicane	Valeur abaque	1,00	m
Blocs de chute			
Hauteur	y1	0,20	m
Largeur	y1	0,20	m
Espacement	y1	0,20	m
Seuil terminal			
H4/Y1	Valeurs lu abaque	1,5	m
Hauteur du seuil	h4	0,27	m
Pente talus seuil	Valeurs lu abaque	0,5	m

➤ **Protection aval du bassin**

Le bassin ne dissipant pas la totalité de l'énergie de l'eau, il est nécessaire de protéger l'aval avec du gabion sur une certaine distance.

Pour les sols argileux, la vitesse de début d'entraînement V_e varie de 0,8 à 1,2 m/s. (DURAND et al., 1998)

En ce qui concerne cette étude nous prendrons $V_e = 1 \text{ m/s}$

Paramètres	Formules	Valeur
Diamètre minimum des enrochements	Valeur lue sur abaque (m)	0,10
Epaisseur de la couche d'enrochement	$e_{\text{enrochement}} = 3 * D_{\text{enrochement}}$	0,30
Longueur de l'enrochement	$L_{\text{Protection}} \text{ (m)} \geq 2 * \text{Longueur du bassin de dissipation}$	6,20

➤ Dimensionnement du drain

Les dimensions du drain sont obtenues après détermination des différents paramètres de la parabole de KOZENY.

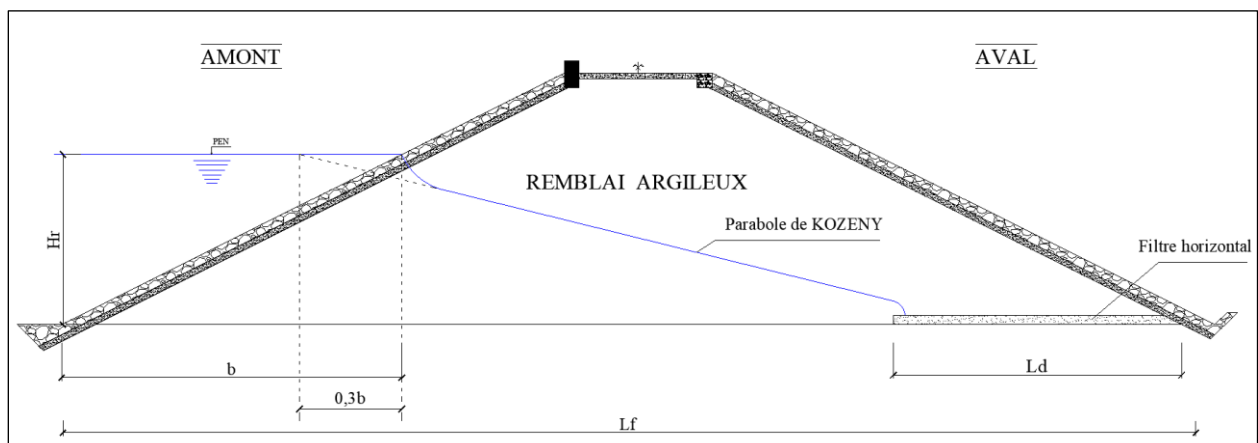


Tableau récapitulatif du dimensionnement du drain filtrant

Calcul du débit de fuite et des dimensions du drain			
Désignation	Formules	Unités	Valeurs
Largeur en crête retenue L_c (m)	-	m	4,0
Pente des talus amont			2,5H /1V
Pente des talus aval	-		2,5H /1V
Largeur en base digue (m)	$L_f = L_c + (m_{\text{amont}} + m_{\text{aval}}) \times H_b$	m	29,5
Longueur du drain horizontal (m)	$L_d = \frac{L_f}{4}$	m	7,375
b (m)	$b = H_r \times m$	m	6,6
d (m)	$d = X - 0,7b$	m	17,51
Y_o (m)	$Y_o = \sqrt{H_r^2 + d^2} - d$	m	0,31
Perméabilité du matériau de la digue K	$q = K_{ar} \times Y_o$	m/s	6.10^{-8}
Débit de fuite (m^2/s)		$m^3/s/ml$	$1,85.10^{-8}$
Perméabilité du sable grossier pour drain K_d (m/s)			6.10^{-6}
Epaisseur du drain e_d (m)	$e_d = 2 \sqrt{\frac{qL_d}{K_d}}$	m	0,30
Epaisseur du drain retenu (cm)		cm	50

➤ Ouvrage de prise

L'ouvrage de prise est dimensionné avec un débit d'équipement de **3,50 l/s**.

Q (m^3/s)	0,35
C	0,8
h(m)	2,1
g (m/s^2)	9,81
D théorique (mm)	294,59

La conduite retenue est une conduite en fonte DN300.

➤ Murs bajoyer

Les dimensions des murs bajoyers sont obtenues après le prédimensionnement et la vérification des conditions de stabilité est faite à l'aide du logiciel CYPE 2016. Les résultats sont présentés comme suit :

✚ Prédimensionnement du mur bajoyers

Prédimensionnement du mur bajoyer retenues

Désignation	Valeurs (m)
Hauteur du mur bajoyer	5,10
Profondeur d'encrage du mur	1,00
Épaisseur en crête de mur	0,30
Epaisseur en base de mur	0,60
Epaisseur du talon	0,60
Longueur du talon	2,80

 Vérification de la stabilité et calcul du ferrailage

Données de calculs

Désignations	Valeurs
γ béton	25
γ remblai	17
b1	0,3
b2	0,3
B	2,8
H1	5,5
H2	0,6
C	0
tan phi	0,65
Ka	0,33

Inventaire des forces et moments appliqués au voile du mur bajoyer

	Forces (kN/m)	Bras de levier (m)	Moment (KN)
Poids propre			
P1	41,25	0,15	6,1875
P2	20,625	0,4	8,25
P3	42	1,4	58,8
Poids du remblai			
P4	14,025	0,7	9,8175
P5	205,7	1,7	349,69
Poussée du remblai			
P6	104,37	2,03	212,23

Calcul des facteurs de sécurité

Désignations	Valeurs	Observations
Fg	2,02	ok
Fr	2,04	ok
d	0,68	
e	0,72	
1-2e/B	1,51	ok

Calcul des aciers d'armature du voile du mur bajoyer

Sections	S1(h=H1)	S4(H=2H1/3)	S5(H=H1/2)
H	5,5	3,7	2,8
Poids propre (KN/ml)	61,9	36,7	25,8
Poussée des terres (KN/ml)	84,9	37,7	21,2
Moment poussée des terres (KN.m/ml)	155,6	46,1	19,4
Mser	155,6	46,1	19,4
Excentricité	2,5	1,3	0,8
4*épaisseur	2,4	2,0	1,8
Flexion	Simple	Simple	Simple
Alpha ser	0,5	0,5	0,5
Mrb (KN.m/ml)	872,4	632,8	512,6
Acier comprimé	Non	Non	Non
Section d'acier tendus (cm ²)	9,95	3,51	1,65
Choix d'aciers	5HA16 e=20 cm	4HA12 e=25 cm	4HA10 e=25 cm
Section d'aciers de répartition	6,00	5,00	4,50
Choix d'aciers de répartition	6HA12 e=15 cm	5HA12 e=20 cm	5HA12 e=20 cm

Inventaire des forces et moments appliqués à la semelle

	Forces (kN/m)	Bras de levier (m)	Moment (KN)
Poids propre			
P1	41,25	0,15	6,1875
P2	20,625	0,4	8,25
P3	42	1,4	58,8
Poids du remblai			
P4	14,025	0,7	9,8175
P5	205,7	1,7	349,69
Poussée du remblai			
P6	104,37	2,03	212,23

Calcul des aciers d'armature de la semelle

Sommes des forces verticales (kN/ml)	323,60
Sommes des forces horizontales (kN/ml)	104,37
Somme des moments stabilisants (kN.m/ml)	432,75
Somme des moments renversants (kN.m/ml)	212,23
Excentricité (m)	0,68
sigma ref (kN/m ²)	196,16
sigma st (kN/m ²)	250,00
l (m)	3,00
l' (m)	0,76
P (kN/ml)	93,50
Ms (kN.m/ml)	129,92
Section d'acier tendus (cm ²)	11,43
Choix d'aciers tendus	5HA16 e= 20 cm
Section d'aciers de repartition (cm ²)	6,00
Choix d'aciers de repartition	8HA10 e=10 cm

➤ **Rapport de calcul du logiciel CYPE**

Données générales

Cote du terrain naturel: 0.00 m

Hauteur du mur au-dessus du terrain naturel: 0.00 m

Arase: Avant

Longueur du mur en vue en plan: 10.00 m

Distance entre joints: 5.00 m

Type de fondation: Semelle filante

Géométrie

MUR

Hauteur: 5.50 m
Épaisseur supérieure: 30.0 cm
Épaisseur inférieure: 60.0 cm

SEMELLE FILANTE

Sans patin
Épaisseur/Hauteur: 60 cm
Talon: 220.0 cm
Béton de propreté: 10 cm

Description du ferrailage

COURONNEMENT				
Armature supérieure: 2HA16				
Ancrage avant / arrière: 20 / 21 cm				
TRONÇONS				
Num.	Avant		Arrière	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
1	HA12e=15 Recouvrement: 0.35 m	HA16e=20	HA10e=15 Recouvrement: 0.45 m Renfort 1: HA10 h=1.5 m	HA16e=20
SEMELLE SUPERFICIELLE				
Armature	Longitudinal	Transversal		
Supérieure	HA10e=25	HA16e=20 Crosse Avant / Arrière: 18 / - cm		
Inférieure	HA10e=25	HA10e=25 Crosse avant / arrière: 11 / - cm		
Longueur d´ancrage courbe en amorce: 40 cm				

Vérification

Référence: Vérifications géométriques et de résistance (Mur): Bajoyer KOKO		
Vérification	Valeurs	État
Vérification au cisaillement en amorce du mur: <i>Critère de CYPE</i>	Maximum: 753.7 kN/m Calculé: 115.3 kN/m	Vérifiée
Epaisseur minimale du tronçon: <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	Minimum: 15 cm Calculé: 30 cm	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i> -Arrière: -Avant:	Minimum: 4.5 cm Calculé: 18.4 cm Calculé: 18.4 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	

Référence: Vérifications géométriques et de résistance (Mur): Bajoyer KOKO		
Vérification	Valeurs	État
-Arrière:	Calculé: 20 cm	Vérifiée
-Avant:	Calculé: 20 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face: <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i>	Minimum: 0.0015	
-Arrière (-5.50 m):	Calculé: 0.00167	Vérifiée
-Avant (-5.50 m):	Calculé: 0.00167	Vérifiée
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face: <i>Article A.8.2,41 de la norme BAEL-91</i>	Calculé: 0.00167	
-Arrière:	Minimum: 0.00043	Vérifiée
-Avant:	Minimum: 0.00031	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue: <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum: 0.001	
-Arrière (-5.50 m):	Calculé: 0.00174	Vérifiée
-Arrière (-4.00 m):	Calculé: 0.00101	Vérifiée
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue: <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum: 0.00096	
-Arrière (-5.50 m):	Calculé: 0.00174	Vérifiée
-Arrière (-4.00 m):	Calculé: 0.00101	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face comprimée: <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Minimum: 0.001	
-Avant (-5.50 m):	Calculé: 0.00125	Vérifiée
-Avant (-4.00 m):	Calculé: 0.00145	Vérifiée
Section minimale des armatures verticales de la face comprimée: <i>BAEL-91, Article A.8.1,21</i>	Minimum: 4 cm ² /m	
-Avant (-5.50 m):	Calculé: 7.54 cm ² /m	Vérifiée
-Avant (-4.00 m):	Calculé: 7.54 cm ² /m	Vérifiée
Pourcentage géométrique maximum d'armature verticale total: <i>Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91</i>	Maximum: 0.05	
-(0.00 m):	Calculé: 0.00425	Vérifiée
-(4.00 m):	Calculé: 0.00347	Vérifiée

Référence: Vérifications géométriques et de résistance (Mur): Bajoyer KOKO		
Vérification	Valeurs	État
Séparation libre minimale des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum: 3 cm	
-Arrière:	Calculé: 6 cm	Vérifiée
-Avant:	Calculé: 12.6 cm	Vérifiée
Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
-Armature verticale Arrière:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
-Armature verticale Avant:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm	
	Calculé: 1.6 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm	
	Calculé: 1 cm	Vérifiée
Vérification sous flexion composée: <i>Vérification réalisée par unité de longueur de mur</i>		Vérifiée
Vérification à l'effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum: 625 kN/m	
	Calculé: 87.1 kN/m	Vérifiée
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Maximum: 250 MPa	
	Calculé: 186.208 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
-Base arrière:	Minimum: 0.44 m	
	Calculé: 0.45 m	Vérifiée
-Base avant:	Minimum: 0.31 m	
	Calculé: 0.35 m	Vérifiée
Vérification de l'ancrage de l'armature de base en couronnement: <i>Critère de CYPE</i>		
-Arrière:	Minimum: 21 cm	
	Calculé: 21 cm	Vérifiée
-Avant:	Minimum: 0 cm	
	Calculé: 20 cm	Vérifiée

Référence: Vérifications géométriques et de résistance (Mur): Bajoyer KOKO		
Vérification	Valeurs	État
Section minimale longitudinale face supérieure poutre de couronnement:	Minimum: 4 cm ²	
<i>Critère de CYPE</i>	Calculé: 4 cm ²	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
Information additionnelle:		
- Cote de la section de relation minimale 'pourcentage horizontal / pourcentage vertical' Arrière: -5.50 m		
- Cote de la section de relation minimale 'pourcentage horizontal / pourcentage vertical' Avant: -5.50 m		
- Section critique en flexion composée: Cote: -4.70 m, Md: 83.93 kN·m/m, Nd: 53.40 kN/m, Vd: 74.65 kN/m, Contrainte maximale de l'acier: 262.717 MPa		
- Section critique sous effort tranchant: Cote: -4.97 m		

Référence: Vérifications géométriques et de résistance (Semelle filante): Bajoyer KOKO		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité:		
<i>Valeur introduite par l'utilisateur.</i>		
-Coefficient de sécurité au renversement:	Minimum: 1.8 Calculé: 2.78	Vérifiée
-Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum: 1.5 Calculé: 1.99	Vérifiée
Épaisseur minimale:		
-Semelle superficielle:		
<i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	Minimum: 15 cm Calculé: 60 cm	Vérifiée
Contraintes appliquées au sol:		
<i>Valeur introduite par l'utilisateur.</i>		
-Contrainte moyenne:	Maximum: 0.25 MPa Calculé: 0.1244 MPa	Vérifiée
-Contrainte maximale:	Maximum: 0.3125 MPa Calculé: 0.2581 MPa	Vérifiée
Flexion dans la semelle:		
<i>Vérification basée sur des critères résistants</i>		

Référence: Vérifications géométriques et de résistance (Semelle filante): Bajoyer KOKO		
Vérification	Valeurs	État
-Armature sup. arrière:	Minimum: 9.62 cm ² /m Calculé: 10.05 cm ² /m	Vérifiée
-Armature inf. arrière:	Minimum: 0 cm ² /m Calculé: 3.14 cm ² /m	Vérifiée
Effort tranchant:		
-Arrière: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum: 641.6 kN/m Calculé: 122.7 kN/m	Vérifiée
Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
-Attentes arrière:	Minimum: 16.2 cm Calculé: 53 cm	Vérifiée
-Attentes avant:	Minimum: 12 cm Calculé: 53 cm	Vérifiée
-Armature inf. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
-Armature inf. avant (Crosse):	Minimum: 11 cm Calculé: 11 cm	Vérifiée
-Armature sup. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	Vérifiée
-Armature sup. avant (Crosse):	Minimum: 17.6 cm Calculé: 18 cm	Vérifiée
Enrobage:		
-Inférieure: <i>DTU 13.12. Article 2,54.</i>	Minimum: 4 cm Calculé: 5 cm	Vérifiée
-Latéral: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.1,3</i>	Minimum: 5 cm Calculé: 7 cm	Vérifiée
-Supérieure: <i>DTU 13.12. Article 2,54.</i>	Minimum: 4 cm Calculé: 5 cm	Vérifiée
Diamètre minimum: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: Ø10	
-Armature transversale inférieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
-Armature longitudinale inférieure:	Calculé: HA10	Vérifiée

Référence: Vérifications géométriques et de résistance (Semelle filante): Bajoyer KOKO		
Vérification	Valeurs	État
-Armature transversale supérieure:	Calculé: HA16	Vérifiée
-Armature longitudinale supérieure:	Calculé: HA10	Vérifiée
Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
-Armature transversale inférieure:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
-Armature transversale supérieure:	Calculé: 20 cm	Vérifiée
-Armature longitudinale inférieure:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
-Armature longitudinale supérieure:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
Séparation minimale entre barres: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: 10 cm	
-Armature transversale inférieure:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
-Armature transversale supérieure:	Calculé: 20 cm	Vérifiée
-Armature longitudinale inférieure:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
-Armature longitudinale supérieure:	Calculé: 25 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum:		
-Armature longitudinale supérieure: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum: 0.0005 Calculé: 0.00052	Vérifiée
-Armature transversale supérieure: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00167	Vérifiée
Pourcentage mécanique minimal:		
-Armature longitudinale supérieure: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum: 0.00041 Calculé: 0.00052	Vérifiée
-Armature transversale supérieure: <i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum: 0.00096 Calculé: 0.00167	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
Information additionnelle:		
- Moment fléchissant défavorable dans la section de référence de l'arrière: 215.53 kN·m/m		

Annexe 4 : Dimensionnement du déversoir

➤ Etude du laminage de crue

Données de calcul :

- Charge sur le seuil déversant $h[m] = 0,8$
- Largeur en crête du seuil $b_1[m] = 1,5$
- Coefficient de débit $m = 0,4$
- Accélération de la pesanteur $g[m/s^2] = 9,81$
- Superficie du plan d'eau normal : $S = 5117389,281 \text{ m}^3$
- Temps de montée : $T_m = 43583 \text{ sec}$

Le coefficient β représente le rapport entre le débit de crue et le débit évacué. La valeur de β fournit est fourni par l'abaque de la figure ci-dessous. Un modèle numérique de la courbe à été déterminé et exploité pour les itérations.

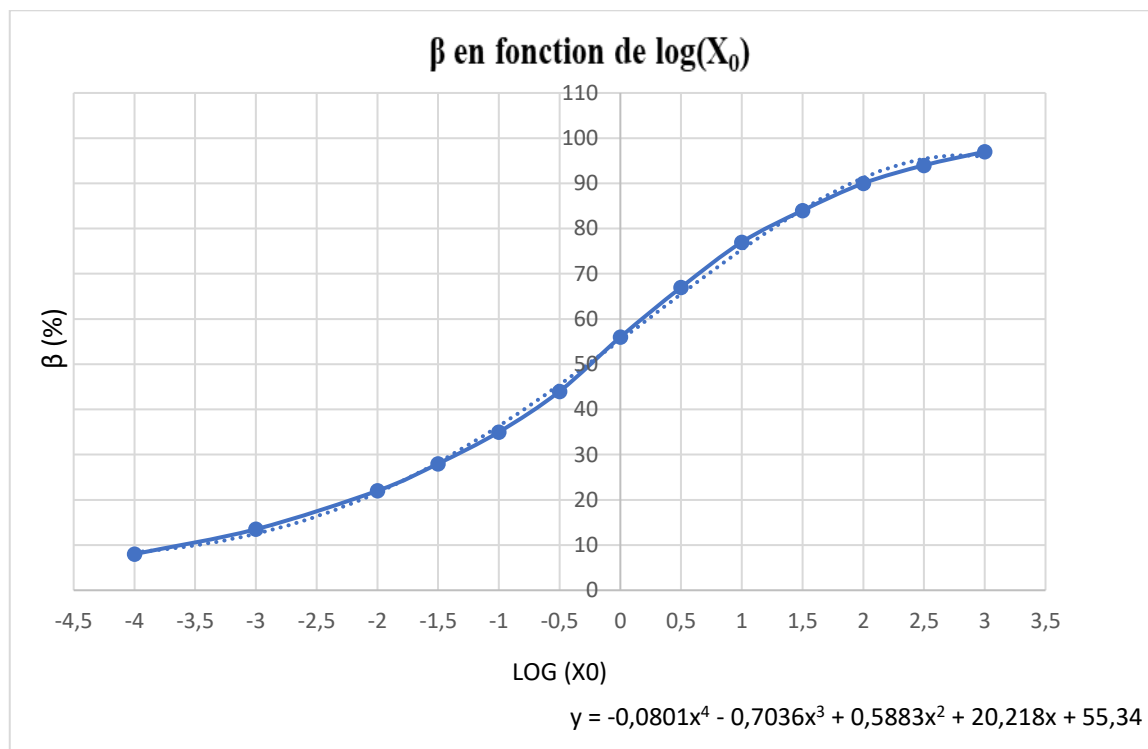


Tableau récapitulatif du laminage de la crue

β_Q	L (m)	Xo	logXo	β
228	179,841689	7,15021166	0,854318898	0,737
168,036	132,543325	2,86234093	0,456721362	0,655
149,34	117,796307	2,00929081	0,303042798	0,622
141,816	111,861531	1,72064015	0,235690052	0,608
138,624	109,343747	1,60705091	0,206029636	0,601
137,028	108,084855	1,55218082	0,190942314	0,598
136,344	107,54533	1,52905269	0,18442245	0,596
135,888	107,185647	1,51376227	0,180057677	0,596
135,888	107,18565	1,51376227	0,180057677	0,596

Nous retiendrons **L=110 m** pour un débit évacué de **135,89 m³/s**

➤ Dimensionnement du déversoir

Le principe du calcul a consisté à trouver par itération, la largeur en crête minimale du déversoir, vérifiant la stabilité au glissement et au renversement, avec une valeur maximale de α égale à 60°.

Une fois l'angle trouvé, on adopte une valeur arrondie de l'angle et on procède à la vérification des stabilités interne et externe du déversoir.

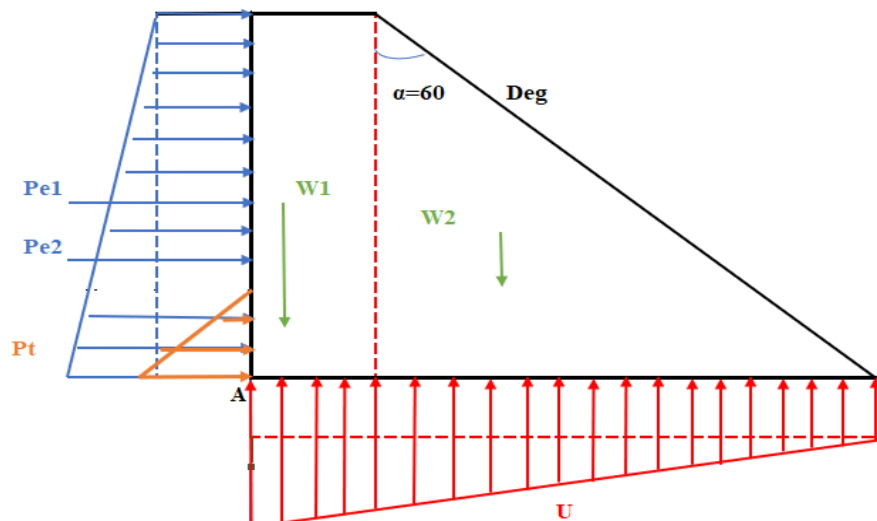
L'étude consistera à vérifier la résistance du déversoir, aux différentes sollicitations dues essentiellement à la poussée de l'eau et aux sous-pressions. Nous vérifierons les stabilités internes et externes.

Les valeurs obtenues après itération et maintenues pour la vérification de la stabilité sont les valeurs suivantes :

Dimensions géométriques du déversoir

Désignations	Valeurs	Unités
Largeur Crête b	1,3	m
Hauteur Hr	3,30	m
Hauteur des sédiments	1,80	m
γ_b béton	25	kN/m ³
γ eau	10	kN/m ³
γ terre	20	kN/m ³

Schéma des sollicitations du le déversoir trapézoïdal



❖ Vérification de la stabilité au glissement et au renversement du déversoir

- Stabilité au non glissement
 - ✓ φ : Angle de frottement des sédiments
 - ✓ W : Poids propre du déversoir
 - ✓ U : Sous pression (pression hydrostatique interne)
 - ✓ P_e : Poussée hydrostatique externe
 - ✓ P_t : Poussée des terres (sédiments déposés)
$$F_g = \frac{(W - U) \times \tan \varphi}{P_e + P_t} \geq 1,2$$
- Stabilité au non renversement
 - ✓ F_g et F_R : respectivement facteur de sécurité au non glissement et au non renversement.
$$F_R = \frac{\sum M(W - U)}{\sum M(P_e + P_t)} \geq 1,5$$

Vérification de la non fissuration et de la non rupture du déversoir

- Condition de non fissuration
 - ✓ e : excentricité par rapport à B
 - ✓ b_2 : largeur en crête du déversoir
$$|e| \leq \frac{b_2}{6}$$
- Condition de non rupture
 - ✓ σ_{max} et $\sigma_{lim,béton}$: respectivement la contrainte d'application au sol et celle admissible du béton
$$\sigma_{max} \leq \sigma_{lim,béton}$$

Données de vérification

Désignation	Symbole	Unités	Valeurs
Hauteur du déversoir	Hr	m	3,3
Lame d'eau déversante	h	m	0,8
Hauteur des sédiments	hsed	m	1,8
Largeur en crête du déversoir	b1	m	1,3
Poids volumique du béton	$\gamma_{béton}$	kN/m ³	25

Désignation	Symbole	Unités	Valeurs
Poids volumique des sédiment	$\gamma_{\text{sédiment}}$	kN/m ³	20
Poids volumique de l'eau	γ_{eau}	kN/m ³	10
Angle de de crête du déversoir	α	°	60
Longueur du déversoir	L	m	1
Facteur Ka	Ka		0,33
Tangente de l'angle de frottement	$\tan \phi$		0,65
Facteur de cohésion	C		0

Résultat du calcul pour $b_1 = 1,30 \text{ m}$ et $\alpha = 60^\circ$

Désignations	Valeurs
Poids propre (W)	343,03
Poussée hydrostatique amont (Pe)	80,85
Poussée des terres (Pt)	10,69
Poussée hydrostatique interne cas1	171,89
Glissement et renversement	
Pe+Pt	91,542
(W-U) tan phi + C.S	111,24
Fg	1,22
Vérification de la condition	OK
M(W-U)	908,95
M(Pe+Pt)	109,87
Fr	8,27
Vérification de la condition	OK
Fissuration	
Xg	2,41
Yg	1,27
e	-0,421
-b2/6	-1,17
b2/6	1,17
Vérification de la condition	OK
Rupture	
fc28 (Mpa)	20
Gamma max (Kpa)	33,18
Gamma lim (Mpa)	6
Vérification de la condition	OK

Annexe 5 : Impact environnemental

Evaluation des impacts du projet de construction du barrage de Tougouya koko

Milieu affecté	Impacts identifiés	Evaluation de l'importance des impacts				
		Catégorie	Intensité	Etendue	Durée	Importance
PHASE D'INSTALLATION ET DES TRAVAUX						
Milieu biophysique						
Sols	Accélération de l'érosion et risques de contaminations par les produits chimiques	Négatif	Faible	Ponctuelle	Courte	Mineure
Air et climat sonore	Pollutions atmosphérique et nuisances sonores	Négatif	Moyenne	Locale	Moyenne	Mineure
Eaux	Contaminations des eaux par les polluants	Négatif	Faible	Locale	Moyenne	Mineure
Végétation	Destruction de la végétation de jachère	Négatif	Faible	Ponctuelle	Courte	Mineure
Faune	Destruction des habitats de la faune	Négatif	Faible	Locale	Moyenne	Mineure
Milieu humain						
Cadre de vie	Production de déchets constitués de gravats et de débris végétaux	Négatif	Forte	Ponctuelle	Courte	Majeure
Bruits	Nuisances sonores liées aux engins produisant grands bruits	Négatif	Moyenne	Ponctuelle	Moyenne	Moyenne
Santé, Sécurité	Nuisances diverses et risque de maladies respiratoires (dus aux gaz d'échappement et à la poussière) et des IST pour les populations riveraines mais aussi le personnel de l'entreprise.	Négatif	Faible	Locale	Courte	Mineure
Agropastorales	Pertes de terres agricoles et des zones de pâturages	Négatif	Moyenne	Locale	Moyenne	Majeure
Emploi et commerce	Création d'emploi et développement d'activités commerciales avec le personnel de l'entreprise.	Positif	Moyenne	Locale	Courte	Moyenne
PHASE D'EXPLOTATION						
Milieu biophysique						

Milieu affecté	Impacts identifiés	Evaluation de l'importance des impacts				
		Catégorie	Intensité	Etendue	Durée	Importance
Sols	Modification de la dynamique physico-chimique des sols	Négatif	Faible	Locale	Longue	Moyenne
Eaux de surface et eaux souterraines	Disponibilité d'une d'eau pour les besoins et recharge de la nappe et amélioration de la productivité des forages environnants	Positif	Forte	Locale	Longue	Majeure
Végétation	Mort de la végétation naturelles et des plantations ne supportant pas l'immersion prolongée.	Négatif	Faible	Locale	Longue	Moyenne
Faune	Recolonisation du site par la faune aquatique (batraciens, insectes, crocodiles etc) et les animaux sauvages	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
Milieu humain						
Santé, sécurité	Possible développement de maladies hydriques (paludisme, bilharziose etc) et risques de noyades.	Négatif	Faible	Locale	Longue	Moyenne
Agropastoralisme	Développement et intensification des activités agropastorales	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
Emploi et commerce	Relance des activités de maraichages et développement des transactions commerciales sur les produits de la pêche et du maraichage	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
Pêche	Développement de la pêche avec la présence d'eau	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
Groupes vulnérables	Amélioration des conditions vie des femmes à travers des activités génératrices de revenus (Transformation locale des produits agricoles et piscicoles).	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
Domaine foncier	Risque d'inondation et perte de fonciers	Négatif	Faible	Locale	Longue	Moyenne

Annexe 6 : Devis quantitatif et estimatif du projet

➤ Avant métré de l'évacuateur de crue, des diguettes de protection et de l'ouvrage de prise

Avant métré évacuateur de crue

Évacuateurs de crue	S (m2)	H(m)	e(m)	L(m)	V(m3)
Déblai aux engins pour fondation des murs bajoyers	65,67	1,1			144,474
Déblai manuel pour la bêche d'ancrage du déversoir	3,675			110	404,25
Déblai manuel pour le seuil final du déversoir	0,35			110	38,5
Déblai manuel pour le muret de blocage de l'enrochement	0,5			110	55
Déblai aux engins pour stabilisation de l'emprise du déversoir	9,14			110	1005,4
Béton ordinaire dosé à 150kg/m3 pour béton de propreté des murs bajoyers	65,67		0,1		13,134
Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour fondation des murs bajoyers	65,67		0,6		78,804
Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour les murs bajoyers	95,63 & 1,35	2,7	0,45		93,357
Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m3 pour déversoir	21,97			110	2418,61
Béton ordinaire dosé à 300kg/m3 pour le bassin de dissipation	1,2			110	136,008
Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m3 pour muret de blocage	0,5			110	55
Sable pour drain filtrant du bassin de dissipation	0,6			110	66
Tuyau PVC D50 pour barbacanes du bassin de dissipation	5*0,4*22			44	
Joints waterstop pour les murs bajoyers et le déversoir	6,1*4+23*7,31			192,53	
Joints bitumineux pour coursier du déversoir	6,77*23			185,61	
Déblai pour enrochement en aval du bassin de dissipation	4			110	440
Enrochement en aval du bassin de dissipation	4			110	440

Avant métré diguettes de protection

Diguettes de protection	l(m)	L(m)	S (m3)	V(m3)
Déblai pour diguettes de protection		60	2	240
Remblai pour diguettes de protection		60	11	1320
Couronnement des diguettes de protection		60	0,48	57,6
Perré maçonné pour diguette de protection	3,35	60	402	
Perré sec pour diguette de protection	3,35	60	402	

Avant métré de l'ouvrage de prise

Ouvrages de prise rive gauche et rive droite	h(m)	l(m)	L(m)	S(m2)	V(m3)
Tour de prise					
Déblai manuel pour tour de prise	1,3			4,41	5,733
Béton ordinaire dosé à 150kg/m3 pour béton de propreté pour fondation de la tour amont	0,1			4,41	0,441
Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour radier de la tour	0,2			4,41	0,882
Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour élévation de la tour	5,1			1,36	6,681
Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour dalle de couverture de la tour	0,15			3,61	0,468
Perré maçonné pour protection de la tour				11,6	
Bac aval					
Déblai manuel pour bacs aval	1			5,76	5,76
Béton ordinaire dosé à 150kg/m3 pour béton de propreté pour bac aval	0,1			5,76	0,576
Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour radier du bac aval	0,2			5,76	1,152
Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour élévation du bac aval	1,6			2,16	3,144
Perré maçonné pour protection de du bac aval				14,4	
Conduite					
Conduite en fonte de 300 mm de diamètre					
Béton armé dosé à 300 kg/m3 pour enrobage conduite			27	0,56	15,12

➤ **Avant métré de la digue et de la tranchée d'ancrage**

Les éléments d'entrées de l'avant métré de la digue et de la tranchée d'encrage proviennent du profil en long généré sur COVADIS sur la base du fond topographique.

Profil	Dist. Partielle (m)	Cote TN (m)	Cote fond tranchée (m)	Section Digue (m ²)	Section tranchée (m ²)	V Digue (m ³)	V tranchée (m ³)	S. talus amont (m ²)	S. talus aval (m ²)	Volume filtre (m ³)	S Décapage (m ²)
P1											
	0					0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
P2		313,30	312,800	0,000	1,833						
	15					19,202	27,500	13,934	13,934		85,875
P3		312,61	312,110	2,560	1,833						
	20					97,025	36,667	52,775	52,775		178,000
P4		312,03	311,530	7,142	1,833						
	20					166,725	49,275	74,854	74,854		219,000
P5		311,79	310,970	9,530	3,094						
	20					212,705	92,294	86,701	86,701		241,000
P6		311,59	310,060	11,740	6,135						
	20					251,465	159,486	95,856	95,856		258,000
P7		311,45	309,150	13,406	9,813						
	20					285,765	210,621	103,395	103,395		272,000
P8		311,31	308,730	15,170	11,249						
	20					326,143	229,701	111,742	111,742		287,500
P9		311,14	308,470	17,444	11,721						
	20					362,930	242,421	119,012	119,012		301,000
P10		311,04	308,220	18,849	12,521						
	20					397,490	256,374	125,474	125,474		313,000
P11		310,90	307,970	20,900	13,117						
	20					433,250	270,033	131,937	131,937		325,000
P12		310,80	307,730	22,425	13,887						
	20					457,890	286,693	136,245	136,245		333,000
P13		310,74	307,510	23,364	14,783						

Profil	Dist. Partielle (m)	Cote TN (m)	Cote fond tranchée (m)	Section Digue (m ²)	Section tranchée (m ²)	V Digue (m ³)	V tranchée (m ³)	S. talus amont (m ²)	S. talus aval (m ²)	Volume filtre (m ³)	S Décapage (m ²)
	20					475,243	304,783	139,207	139,207		338,500
P14		310,69	307,300	24,160	15,696						
	20					501,163	320,290	143,515	143,515		346,500
P15		310,58	307,080	25,956	16,333						
	20					525,800	337,275	147,554	147,554		354,000
P16		310,54	306,860	26,624	17,394						
	20					535,850	359,923	149,169	149,169		357,000
P17		310,52	306,640	26,961	18,598						
	20					547,733	382,406	151,054	151,054		360,500
P18		310,47	306,420	27,812	19,643						
	20					556,245	406,017	152,400	152,400		363,000
P19		310,47	306,210	27,812	20,959						
	20					570,125	428,125	154,554	154,554		367,000
P20		310,39	305,990	29,200	21,853						
	20					592,843	446,792	158,055	158,055		373,500
P21		310,34	305,790	30,084	22,826						
	20					601,680	465,729	159,401	159,401		376,000
P22		310,34	305,650	30,084	23,747						
	20					610,643	480,932	160,747	160,747		378,500
P23		310,29	305,510	30,980	24,346						
	20					628,693	492,293	163,440	163,440		383,500
P24		310,24	305,380	31,889	24,883						
	20					645,140	504,437	165,863	165,863		388,000
P25		310,20	305,240	32,625	25,561						
	20					652,500	520,805	166,940	166,940		390,000
P26		310,20	305,100	32,625	26,520						
	20					673,153	532,473	169,902	169,902		395,500
P27		310,09	304,960	34,690	26,727						
	20					717,025	535,931	176,095	176,095		407,000
P28		309,97	304,820	37,012	26,866						

Profil	Dist. Partielle (m)	Cote TN (m)	Cote fond tranchée (m)	Section Digue (m ²)	Section tranchée (m ²)	V Digue (m ³)	V tranchée (m ³)	S. talus amont (m ²)	S. talus aval (m ²)	Volume filtre (m ³)	S Décapage (m ²)
	20					780,545	532,480	184,711	184,711		423,000
P29		309,77	304,690	41,042	26,382						
	20					867,485	522,155	196,020	196,020		444,000
P30		309,55	304,550	45,706	25,833						
	20					936,125	519,405	204,636	204,636		460,000
P31		309,45	304,410	47,906	26,107						
	20					1005,953	517,358	212,983	212,983	47,550	475,500
P32		309,24	304,270	52,689	25,629						
	20					1116,050	504,445	225,638	225,638	49,900	499,000
P33		308,98	304,130	58,916	24,816						
	20					1215,783	496,317	236,678	236,678	51,950	519,500
P34		308,83	303,980	62,662	24,816						
	20					1278,845	501,046	243,409	243,409	53,200	532,000
P35		308,73	303,810	65,222	25,289						
	20					1317,433	513,274	247,448	247,448	53,950	539,500
P36		308,68	303,650	66,521	26,039						
	20					1333,033	531,823	249,064	249,064	54,250	542,500
P37		308,67	303,480	66,782	27,144						
	20					1343,513	551,978	250,141	250,141	54,450	544,500
P38		308,64	303,320	67,569	28,054						
	20					1396,813	561,083	255,526	255,526	55,450	554,500
P39		308,47	303,150	72,112	28,054						
	20					1436,825	573,875	259,565	259,565	56,200	562,000
P40		308,49	302,990	71,570	29,333						
	20						517,684				590,500
P41		307,90	303,410		22,435						
	20						434,577				610,000
P42		308,10	303,830		21,023						
	20						373,560				617,500
P43		307,75	304,250		16,333						

Profil	Dist. Partielle (m)	Cote TN (m)	Cote fond tranchée (m)	Section Digue (m ²)	Section tranchée (m ²)	V Digue (m ³)	V tranchée (m ³)	S. talus amont (m ²)	S. talus aval (m ²)	Volume filtre (m ³)	S Décapage (m ²)
	20						326,667				602,500
P44		308,40	304,900		16,333						
	20						297,235				564,000
P45		308,52	305,540		13,390						
	10						131,175				273,750
P45+10		308,73	305,850	65,222	12,845						
	10					640,691	122,567	121,839	121,839	26,625	266,250
P46		308,82	306,160	62,916	11,669						
	20					1210,963	208,827	236,139	236,139	51,850	518,500
P47		309,01	306,830	58,180	9,214						
	20					1125,125	160,812	226,715	226,715	50,100	501,000
P48		309,17	307,480	54,332	6,867						
	20					1049,445	115,901	218,099	218,099	48,500	485,000
P49		309,33	308,120	50,612	4,723						
	20					941,685	80,612	205,175	205,175		461,000
P50		309,65	308,770	43,556	3,338						
	20					817,565	51,715	189,558	189,558		432,000
P51		309,91	309,410	38,200	1,833						
	20					702,725	38,592	173,941	173,941		403,000
P52		310,23	309,680	32,072	2,026						
	20					565,545	40,904	153,477	153,477		365,000
P53		310,67	310,110	24,482	2,065						
	20					375,233	47,573	119,820	119,820		302,500
P54		311,48	310,760	13,041	2,693						
	20					200,900	45,261	82,932	82,932		234,000
P55		312,04	311,540	7,049	1,833						
	21					74,015	41,742	35,623	35,623		150,150
P56											
Total	1076		17466,39	1779,41	27241,28	33576,71	17739,92	7938,96	7938,96	653,98	21864,52

➤ **Coût de la construction du barrage et des ouvrages annexes**

L'estimation du coût en hors taxe a été faite sur la base du 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 »

Devis estimatif du barrage

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	Quantité	Prix Unit.	Prix Total
I	Installation et repli du matériel de chantier				
1.1	Amené et repli du matériel	FF	1	10 000 000	10 000 000
1.2	Installation du chantier	FF	1	10 000 000	10 000 000
	Sous- total-I				20 000 000
II	Tranchée d'ancrage et fondation				
2.1	Débroussaillage-décapage (Min 20 cm)	m2	21864,525	250	5 466 131
2.2	Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	17739,916	4 000	70 959 666
2.3	Remblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	17739,916	6 000	106 439 498
	Sous-Total-III				182 865 295
III	Digue				
3.1	Remblai compacté aux engins pour digue homogène	m3	33576,713	7 000	235 036 988
3.2	Sable pour filtre	m3	653,975	10 000	6 539 750
3.3	Couche de pose filtrante talus amont (e=15cm)	m3	1190,8437	5 000	5 954 219
3.4	Perré sec Amont (épaisseur = 25 cm)	m2	7938,9581	10 750	85 343 799
3.5	Couche de pose filtrante talus aval (e=15cm)	m3	1190,8437	5 000	5 954 219
3.6	Perré sec Aval (épaisseur = 25 cm)	m2	7938,9581	10 750	85 343 799
3.7	Couche de couronnement crête	m3	869,4	7 000	6 085 800
3.8	Déblai manuel travers remblai (muret de crête)	m3	241,5	2 500	603 750
3.9	Maçonnerie de moellons pour muret de crête	m3	241,5	15 000	3 622 500
3.10	Déblai manuel à travers remblai pour mur parapet	m3	241,5	2 500	603 750
3.11	Béton ordinaire pour mur parapet	m3	434,7	161 670	70 277 949
3.12	Déblai manuel pour drain de pied	m3	608,58	2 500	1 521 450
3.13	Déblai manuel pour butée de pied	m3	362,25	2 500	905 625
3.14	Enrochement à la main pour butée	m3	362,25	22 750	8 241 188
3.15	Enrochement à la main pour drain	m3	535,56726	22 750	12 184 155
3.16	Barbacane pour mur parapet	ml	48,8	2 000	97 600
3.17	Polystyrène pour parapet	m2	43,92	3 500	153 720

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	Quantité	Prix Unit.	Prix Total
	Sous-total-IV				528 470 260
VI	Évacuateur de crue				
4.1	Déblai aux engins pour fondation des murs bajoyers	m3	144,474	4 000	577 896
4.2	Déblai manuel pour la bêche d'ancrage du déversoir	m3	404,25	2 500	1 010 625
4.3	Déblai manuel pour le seuil final du déversoir	m3	38,5	2 500	96 250
4.4	Déblai manuel pour le muret de blocage de l'enrochement	m3	55	2 500	137 500
4.5	Déblai aux engins pour stabilisation de l'emprise du déversoir	m3	1005,4	4 000	4 021 600
4.6	Béton ordinaire dosé à 150kg/m3 pour béton de propreté des murs bajoyers	m3	13,134	53 750	705 953
4.7	Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour fondation des murs bajoyers	m3	78,804	190 830	15 038 167
4.8	Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour les murs bajoyers	m3	93,357	190 830	17 815 316
4.9	Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m3 pour déversoir	m3	2418,6085	82 500	199 535 201
4.10	Béton ordinaire dosé à 300kg/m3 pour le bassin de dissipation	m3	136,008	161 670	21 988 413
4.11	Béton cyclopéen dosé à 250 kg/m3 pour muret de blocage	m3	55	82 500	4 537 500
4.12	Sable pour drain filtrant du bassin de dissipation	m3	66	10 000	660 000
4.13	Tuyau PVC D50 pour barbacanes du bassin de dissipation	ml	44	2 000	88 000
4.14	Joints waterstop pour les murs bajoyers et le déversoir	ml	192,53	10 000	1 925 300
4.15	Joints bitumineux pour coursier du déversoir	ml	185,61	3 000	556 830
4.16	Déblai pour enrochement en aval du bassin de dissipation	m3	440	4 000	1 760 000
4.17	Enrochement en aval du bassin de dissipation	m3	440	22 750	10 010 000
	Sous-Total-IV-1				280 464 552
V	Diguettes de protection				
5.1	Déblai pour diguettes de protection	m3	240	4 000	960 000
5.2	Remblai pour diguettes de protection	m3	1320	7 000	9 240 000
5.3	Couronnement des diguettes de protection	m3	57,6	7 000	403 200
5.4	Perré maçonné pour diguette de protection	m2	402	14 795	5 947 590

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	Quantité	Prix Unit.	Prix Total
5.5	Perré sec pour diguette de protection	m2	402	10 750	4 321 500
	Sous-Total-VI				20 872 290
VI	Ouvrages de prise				
	Tour de prise				
6.1	Déblai manuel pour tour de prise	m3	5,733	2 500	14 333
6.2	Béton ordinaire dosé à 150kg/m3 pour béton de propreté pour fondation de la tour amont	m3	0,441	53 750	23 704
6.3	Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour radier de la tour	m3	0,882	190 830	168 312
6.4	Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour élévation de la tour	m3	6,68	190 830	1 274 744
6.5	Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour dalle de couverture de la tour	m3	0,49	190 830	93 507
6.6	Couverture de fabrication locale pour entrée de la tour	u	1	25 000	25 000
6.7	Grille de fabrication locale pour protection de l'entrée d'eau dans la tour	u	1	25 000	25 000
6.8	Echelle de descente de la tour	u	1	120 000	120 000
6.9	Perré maçonné pour protection de la tour	m2	2,988	14 795	44 207
6.10	Passerelle d'accès à la tour	u	1	1 500 000	1 500 000
6.11	Vanne plate de section 1,20 m x 1m plus tige et volant de manutention	u	1	75 000	75 000
	Bac aval				
6.12	Déblai manuel pour bacs aval	m3	3,744	2 500	9 360
6.13	Béton ordinaire dosé à 150kg/m3 pour béton de propreté pour bac aval	m3	0,576	53 750	30 960
6.14	Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour radier du bac aval	m3	1,152	190 830	219 836
6.15	Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour élévation du bac aval	m3	3,144	190 830	599 970
6.16	Caillebotis posé sur cornière pour bac amont	u	1	25 000	25 000
6.17	Echelle de descente du bac aval	u	1	25 000	25 000
6.18	Perré maçonné pour protection de du bac aval	m2	12,9	14 795	190 856
	Conduite				
6.19	Béton ordinaire dosé à 150kg/m3 pour béton de propreté d'enrobage de la conduite	m3	2,97	53 750	159 638
6.20	Conduite en fonte de 300 mm de diamètre	ml	27	175 000	4 725 000
6.21	Béton armé dosé à 300 kg/m3 pour enrobage conduite	m3	15,12	130 000	1 965 600

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	Quantité	Prix Unit.	Prix Total
6.22	Vanne papillon Diamètre 300 et accessoires	u	1	1 500 000	1 500 000
6.23	Crépine Diamètre 300 (locale)	u	1	15 000	15 000
	Sous-Total-VII				12 830 026
VII	Dispositif de suivi du barrage et balisage de la limite des PHE				
7.1	Echelle limnimétrique par unité de 1,00 m fabriquées en usine	ml	5	65 000	325 000
7.2	Bornage de la limite de plus hautes eaux	u	253	100 000	25 300 000
	Sous total-VII				25 625 000
TOTAL en Hors Taxes					1 071 127 423

➤ **Coût de mise en œuvre du Plan de Gestion Environnementale et Social (PGES)**

Coût des mesures d'atténuation, de compensation ou de bonification

Rappel de l'impact	Mesures environnementales proposées	Responsables de mise en œuvre	Coûts des mesures (FCFA)	Périodes d'exécution
Érosion et perte des propriétés physique et chimique du sol	Prendre des précautions nécessaires afin de remettre en place la terre arable décapée.	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	A la fin des travaux
	Restaurer et aménager les zones d'emprunts par le reboisement de 400 plants	Services techniques locaux du ministère de l'environnement	120 000	Mois d'août suivant la fin des travaux
	Installer des dispositifs de lutte anti érosive (cordon pierreux) sur la zone d'emprunt	Services techniques locaux du ministère de l'agriculture	50 000	A la fin des travaux
Pollution des eaux de surface et envasement	Récolter les huiles usagées et les déchets pour incinération	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	Pendant les travaux
	Prévoir des installations sanitaires pour le personnel du chantier	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	Pendant les travaux
	Respecter la bande de servitude estimée à 100 à partir du niveau supérieur des eaux	Entreprise responsable des travaux	PM	Pendant les travaux
	Végétaliser la bande de servitude ;	Services techniques locaux du ministère de l'environnement	Cf. Restauration du couvert végétal	Mois d'août suivant la fin des travaux
	Encourager l'installation des cordons pierreux autour des exploitations agricoles situées sur le bassin versant	Services techniques locaux du ministère de l'agriculture	PM	À tout moment
	Veiller à l'utilisation des fertilisants et des pesticides homologués	Services techniques locaux du ministère de l'agriculture	PM	A la fin des travaux
Pollution des eaux sous-terraines par infiltration	Récolter les huiles usagées et les déchets pour incinération ;	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	Pendant les travaux

Rappel de l'impact	Mesures environnementales proposées	Responsables de mise en œuvre	Coûts des mesures (FCFA)	Périodes d'exécution
	Veiller à l'utilisation des fertilisants et des pesticides homologués	Services techniques locaux du ministère de l'agriculture	PM	A la fin des travaux
Dégradation de la qualité de l'air	Arrosage des sites	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	Pendant les travaux
	Entretien périodique des engins de terrassement	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	Pendant les travaux
Augmentation du bruit dans la zone des travaux	Entretien périodique des engins de terrassement	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	Pendant les travaux
Destruction de l'habitat de la faune terrestre	Faire respecter la législation en matière de gestion de la faune en interdisant l'abattage ou la capture (faune aviaire essentiellement)	Services techniques locaux du ministère de l'environnement	PM	À tout moment
	Restauration de l'habitat de la faune (voir végétation)	Services techniques locaux du ministère de l'environnement	(Voir destruction du couvert végétal)	Mois d'août suivant la fin des travaux
Réduction et/ou baisse de la qualité de la faune aquatique due à la pollution et à l'eutrophisation	Respecter la bande de servitude estimée à 100 à partir du niveau supérieur des eaux ;	Services techniques locaux du ministère de l'eau	PM	À tout moment
	Végétaliser la bande de servitude ;	Services techniques locaux du ministère de l'environnement	PM	Mois d'août suivant la fin des travaux
	Encourager l'installation des cordons pierreux autour des exploitations agricoles situées sur le bassin versant ;	Services techniques locaux du ministère de l'agriculture	PM	À tout moment
	Veiller à l'utilisation des fertilisants et des pesticides homologués	Services techniques locaux du ministère de l'agriculture	PM	À tout moment
Destruction du couvert végétal	Remplacer les espèces ligneuses abattues lors des travaux par des plantations d'arbres	Services techniques locaux du ministère de l'environnement	25 000 000	Mois d'août suivant la fin des travaux

Rappel de l'impact	Mesures environnementales proposées	Responsables de mise en œuvre	Coûts des mesures (FCFA)	Périodes d'exécution
	Encourager les plantations d'alignement dans les exploitations agricoles	Services techniques locaux du ministère de l'environnement	PM	À tout moment
Lésions corporelles, inaptitude temporaire ou permanente, maladies respiratoires, paludisme et autres maladies d'origine hydrique, mort	Sensibiliser les riverains sur les risques du paludisme et les maladies hydriques	Services techniques locaux du ministère de la santé	100 000	Pendant les travaux
	Informar, conscientiser et éduquer les ouvriers du chantier et les riverains sur les M.S.T et le sida et les précautions nécessaires pour les éviter	Services techniques locaux du ministère de la santé	100 000	Pendant les travaux
	Assurer le respect et le contrôle rigoureux des conditions d'hygiène sur le chantier	Services techniques locaux du ministère de la santé	PM	Pendant les travaux
	Assurer la gestion efficiente des déchets solides et liquides, par la réalisation des infrastructures sanitaires dans les habitations riveraines du plan d'eau telles que les fosses septiques	Ministère de l'eau et de l'assainissement	1 000 000	Pendant les travaux et pendant l'exploitation de l'ouvrage
	Assurer une meilleure gestion des eaux usées et des déchets des ouvriers, des huiles de vidanges sur le chantier	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	Pendant les travaux
Perte d'exploitations agricoles, de concessions et de lieu de culte	Privilégier les personnes ayant perdu leurs champs dans l'attribution des parcelles aménagées	Services techniques locaux du ministère de l'agriculture	PM	Pendant l'attribution des parcelles aménagées

Rappel de l'impact	Mesures environnementales proposées	Responsables de mise en œuvre	Coûts des mesures (FCFA)	Périodes d'exécution
	Apporter un appui en intrants agricoles aux personnes ayant perdus leurs champs afin de les permettre d'obtenir une bonne productivité dans les nouveaux champs	Ministère en charge de l'eau/direction des infrastructures hydrauliques	25 000 000	Avant le démarrage des travaux
	Apporter une compensation financière aux personnes ou communautés qui auront leurs concessions/lieu de culte détruites	Ministère en charge de l'eau/direction des infrastructures hydrauliques	161 350 500	Avant le démarrage des travaux
	Accompagner les proches des dépouilles qui seront délocalisées	Ministère en charge de l'eau/direction des infrastructures hydrauliques	10 000 000	Avant la mise en eau
Modification du paysage local par la destruction de bâtiments	Apporter une compensation financière aux personnes ou communautés qui auront leurs concessions/lieu de culte détruites	Ministère en charge de l'eau/direction des infrastructures hydrauliques	Cf « Perte d'exploitations agricoles, de concessions et de lieu de culte »	Avant le démarrage des travaux
Collision avec les camions de transport des agrégats, le bétail et suppression de pistes	Renforcement de la sécurité routière par l'aménagement de déviations provisoires, par des signalisations additionnelles (panneaux de signalisation et d'indication) et par la limitation de vitesse	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	Pendant les travaux
	L'information et la sensibilisation des ouvriers (surtout les chauffeurs pour respecter la limitation de vitesses), des riverains et des usagers de la route (campagnes et panneaux de sensibilisation et d'information sur le déroulement des travaux)	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	Pendant les travaux

Rappel de l'impact	Mesures environnementales proposées	Responsables de mise en œuvre	Coûts des mesures (FCFA)	Périodes d'exécution
	Dévier la principale piste reliant Tougouya Koko à Bassi	MEA/Ministère des infrastructures	Evaluation à faire	Avant la mise en eau
	Réaliser les travaux dans le temps imparti afin de limiter la période de perturbation des activités des riverains	Entreprise responsable des travaux	Intégré au marché de l'entreprise	Pendant les travaux
Création d'emplois temporaires et permanents	Faire obligation à l'entreprise chargée des travaux de recruter toute la main d'œuvre non qualifiée dans les localités contiguës au plan d'eau	Ministère en charge de l'eau/direction des infrastructures hydrauliques	PM	Avant le démarrage des travaux
Amélioration de l'économie locale	Organiser les producteurs en groupements puis en coopérative afin d'avoir une plus-value de la production ;	Services techniques locaux du ministère de l'agriculture	50 000	Pendant la phase d'exploitation
	Initier des formations en techniques de conservation des produits maraichers et équiper les producteurs en matériel conséquent	Services techniques locaux du ministère de l'agriculture	2 500 000	En début de la phase d'exploitation
	Réaliser un empoissonnement du plan d'eau	Ministère en charge de la pêche	10 000 000	A la mise en eau
	Appuyer la mise en place et la formation de groupement de pêcheurs	Services techniques locaux du ministère de l'élevage	50 000	En début de la phase d'exploitation
	Organiser les femmes en groupements de transformatrices des produits de la pêche, les former et appuyer en équipements conséquents	Services techniques locaux du ministère de l'élevage	2 500 000	En début de la phase d'exploitation

Rappel de l'impact	Mesures environnementales proposées	Responsables de mise en œuvre	Coûts des mesures (FCFA)	Périodes d'exécution
	Elaborer un schéma de gestion pastorale prenant en compte l'alimentation et l'abreuvement du bétail ;	Services techniques locaux du ministère de l'élevage	3 000 000	En début de la phase d'exploitation
	Mettre en place un comité de gestion (COGES) du plan d'eau	Services techniques locaux du ministère de l'eau	50 000	Pendant la phase des travaux
	Percevoir des taxes sur les prélèvements d'eau (agriculture, élevage, construction) du barrage et sur l'exploitation des ressources halieutiques	COGES	PM	Pendant la phase d'exploitation
Amélioration du niveau de vie des populations locales	Valoriser la recharge de la nappe phréatique en créant des forages équipés de système d'exhaure solaire pour l'alimentation en eau potable dans les villages riverains	Ministère en charge de l'eau/direction des infrastructures hydrauliques	20 000 000	Pendant la phase d'exploitation
Coût total de la mise en œuvre			260 870 500	

Source : Rapport de la Notice d'Impact Environnemental et Social (NIES) du barrage de Tougouya Koko

Programme de suivi et de surveillance environnementale

Impact/actions environnementales	Responsable de mise en œuvre	Responsable du suivi	Fréquence	Coût du suivi	Indicateurs
Suivi du reboisement	Ministère en charge de l'eau/ Direction Générale des Infrastructures hydrauliques	Ministère en charge des ressources forestières	Annuelle	200 000	Taux de reprise
Contrôle de la qualité des eaux et sols	Ministère en charge de l'eau/ Direction Générale des Infrastructures hydrauliques	Ministère en charge de l'environnement (direction d'analyse des eaux)	2 fois par mois pendant les travaux	300 000	Turbidité de l'eau nombre de déversements accidentels de produits de chantiers dans les points d'eau
Sécurisation du chantier de réhabilitation	Ministère en charge de l'eau/ Direction Générale des Infrastructures hydrauliques	Entreprise de contrôle des travaux	Quotidienne	Intégré au marché de l'entreprise	Nombre d'accident de travail
Amélioration des conditions de vie des communautés locales	Ministère en charge de l'eau/ Direction Générale des Infrastructures hydrauliques	COGES	A la tâche	PM	Montant recouvré pour l'utilisation des ressources du plan d'eau
Surveillance environnementale	Ministère en charge de l'eau/ Direction Générale des Infrastructures hydrauliques	Ministère en charge de l'environnement	Semestrielle	2 000 000	Nombre de rapport de surveillance environnementale
Suivi externe du BUNEE	Ministère en charge de l'eau/ Direction Générale des Infrastructures hydrauliques	BUNEE	Annuelle	500 000	Nombre de rapport de suivi externe
Coût total du suivi				3 000 000	

Source : Rapport de la Notice d'Impact Environnemental et Social (NIES) du barrage de Tougouya Koko

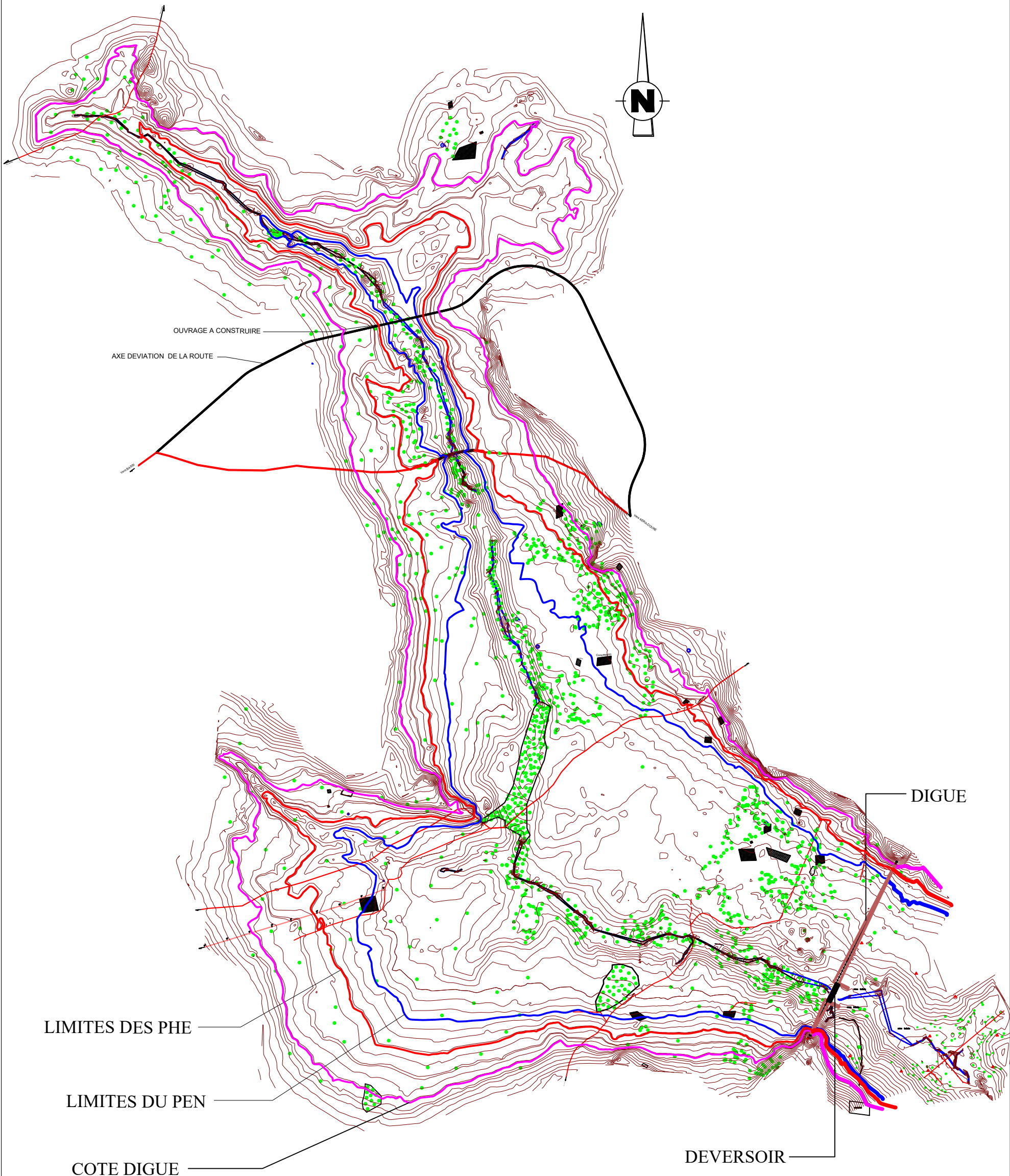
Récapitulatif des coûts des mesures environnementales et sociales

Mesures	Responsable de mise en œuvre	Coût du suivi
Mesures de mitigation, de compensation ou de bonification	Ministère en charge de l'eau/ Direction Générale des Infrastructures hydrauliques	260 870 500
Mesures de suivi et de surveillance environnementale	- Ministère en charge de l'eau/ Direction Générale des Infrastructures hydrauliques - COGES	3 000 000
Total		263 870 500

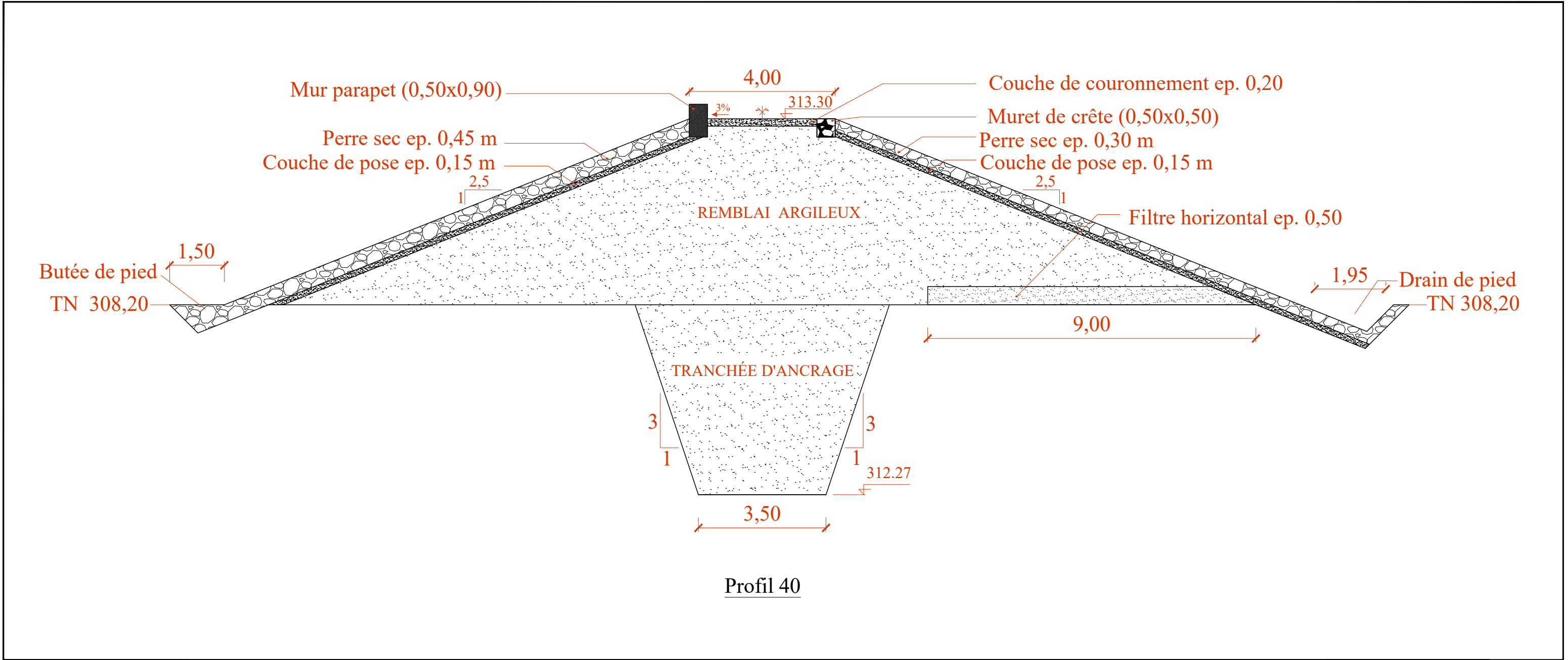
Source : Rapport de la Notice d'Impact Environnemental et Social (NIES) du barrage de Tougouya Koko

Annexe 7 : Pièces graphiques

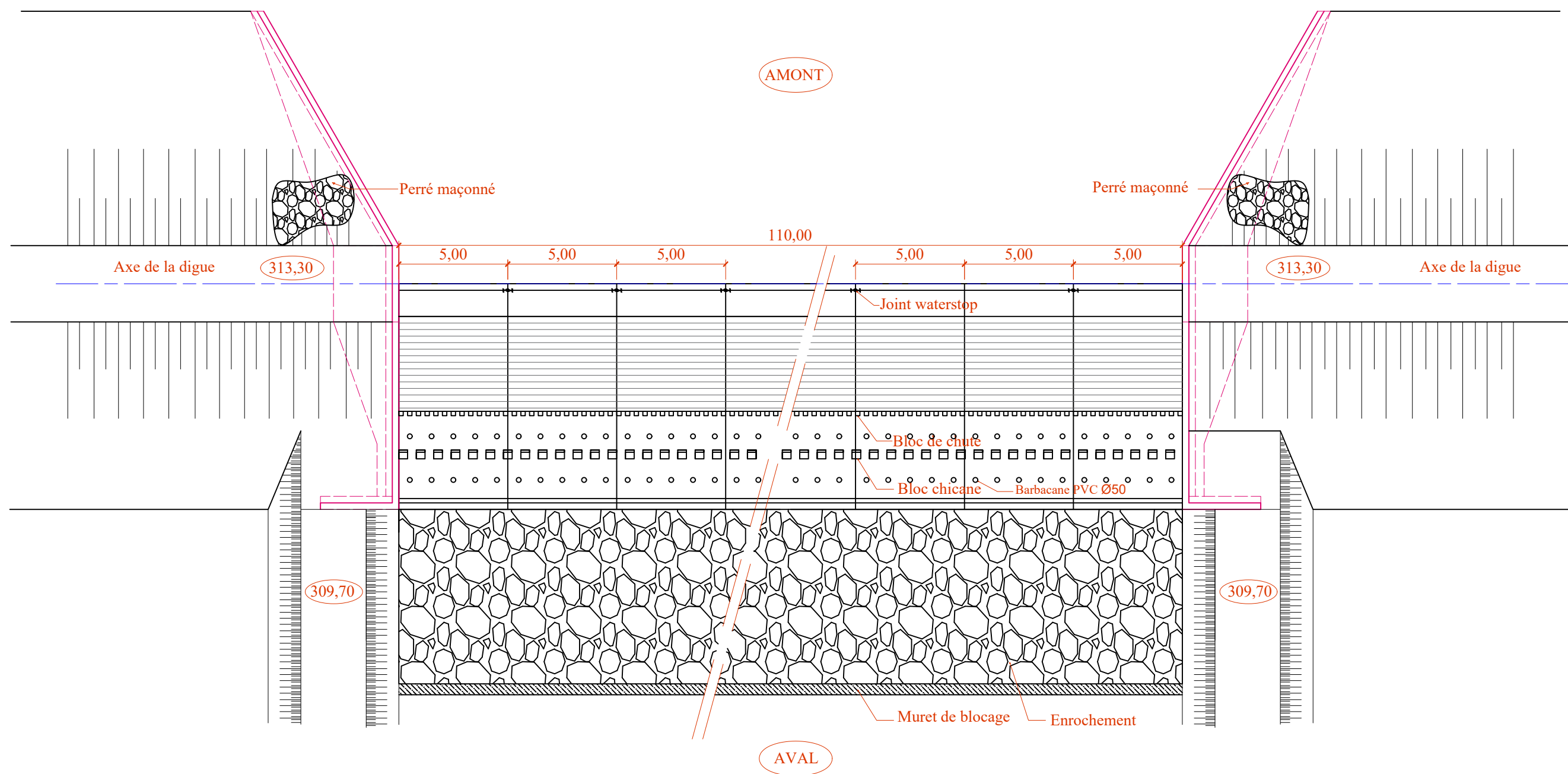
1. Fond topographique du barrage
2. Profil en long de la digue
3. Coupe de la digue
4. Vue en plan du déversoir
5. Coupe du déversoir
6. Murs bajoyers
7. Ouvrage de prise
8. Plans de ferrailage



BURKINA FASO		Dessiné par: OUEDRAOGO Hamidou S10 IRH_ID	ETUDE APD POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE TOUGOUYA KOKO REGION DU NORD	Date : 12/ 2020
SECRETARIAT GENERAL			FOND TOPOGRAPHIQUE DU BARRAGE	FORMAT: A3
DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES				Plan N° 01



BURKINA FASO		Dessiné par: OUEDRAOGO Hamidou S10 IRH_ID	ETUDE APD POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE TOUGOUYA KOKO REGION DU NORD	Date : 12/ 2020
SECRETARIAT GENERAL			COUPE DE LA DIGUE	FORMAT: A3
DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES				Plan N° 03



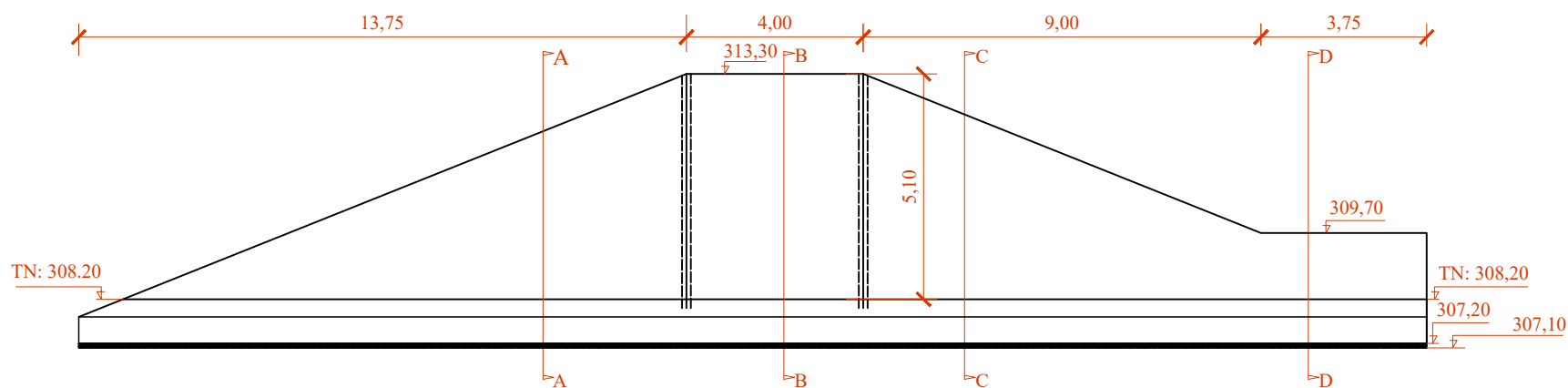
BURKINA FASO
SECRETARIAT GENERAL
DIRECTION GENERALE DES
INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES



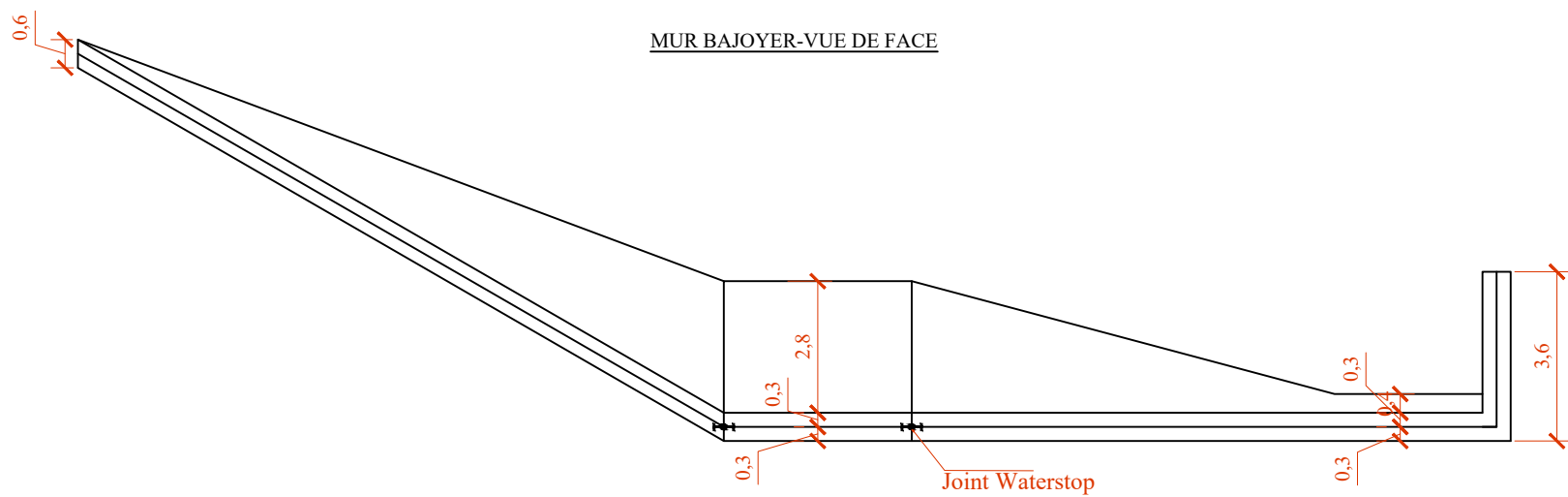
Dessiné par:
OUEDRAOGO Hamidou
S10 IRH_ID

ETUDE APD POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE
DE TOUGOUYA KOKO
REGION DU NORD
VUE EN PLAN DU DEVERSOIR

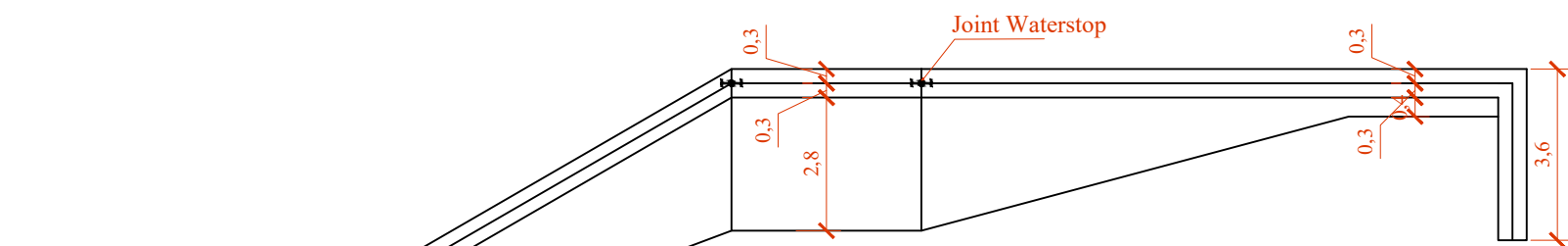
Date : 12/ 2020
FORMAT: A3
Plan N° 04



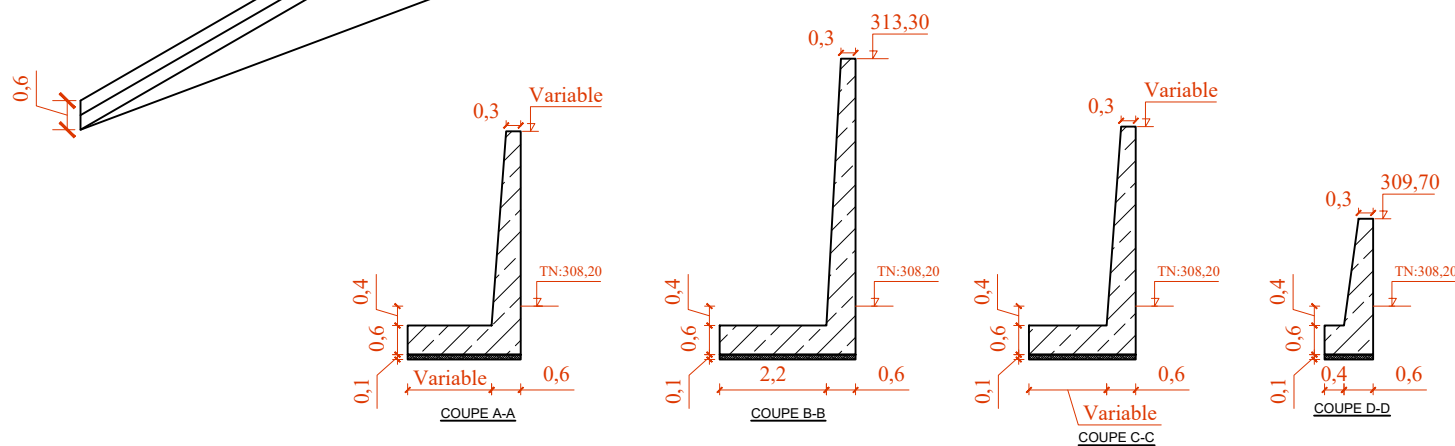
MUR BAJOYER-VUE DE FACE



MUR BAJOYER RG-VUE EN PLAN



MUR BAJOYER RD-VUE EN PLAN



MUR BAJOYER-COUPES TRANSVERSALES

BURKINA FASO

SECRETARIAT GENERAL

DIRECTION GENERALE DES
INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES



Dessiné par:
OUEDRAOGO Hamidou
S10 IRH_ID

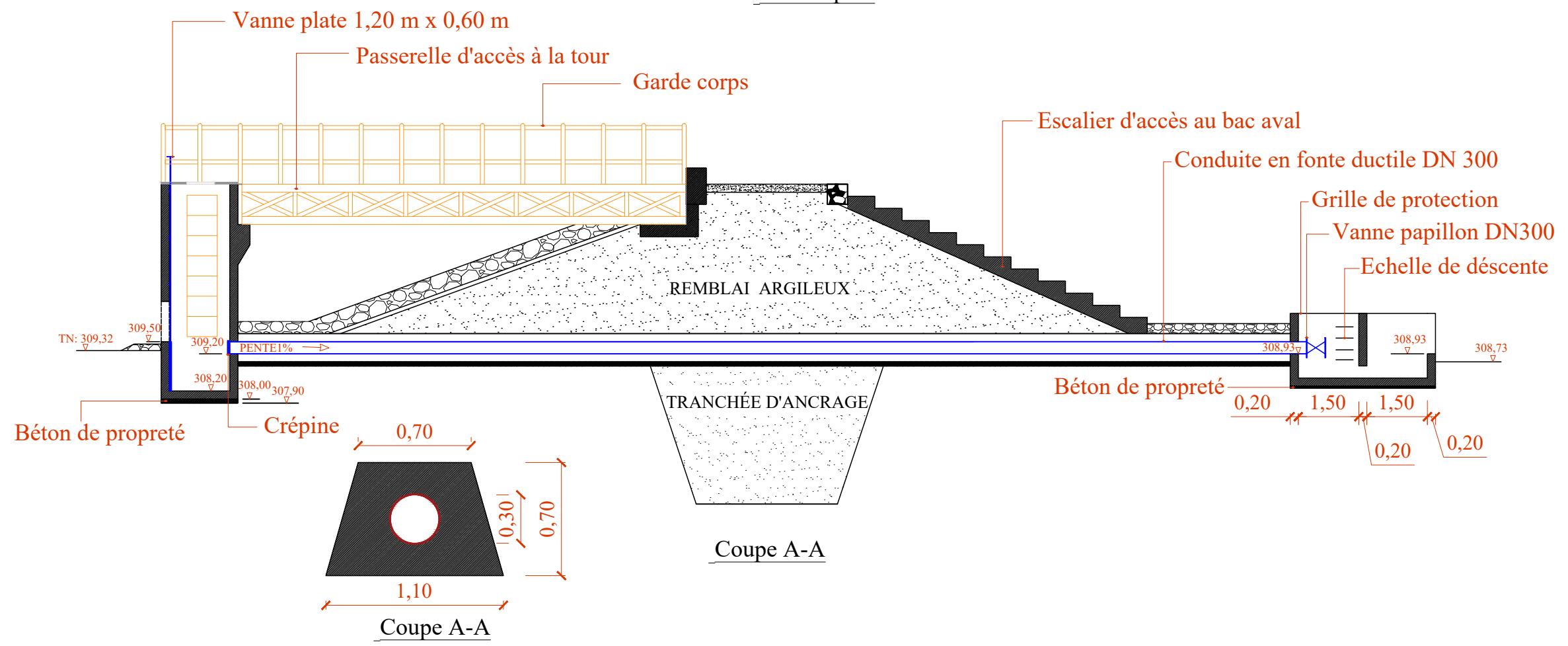
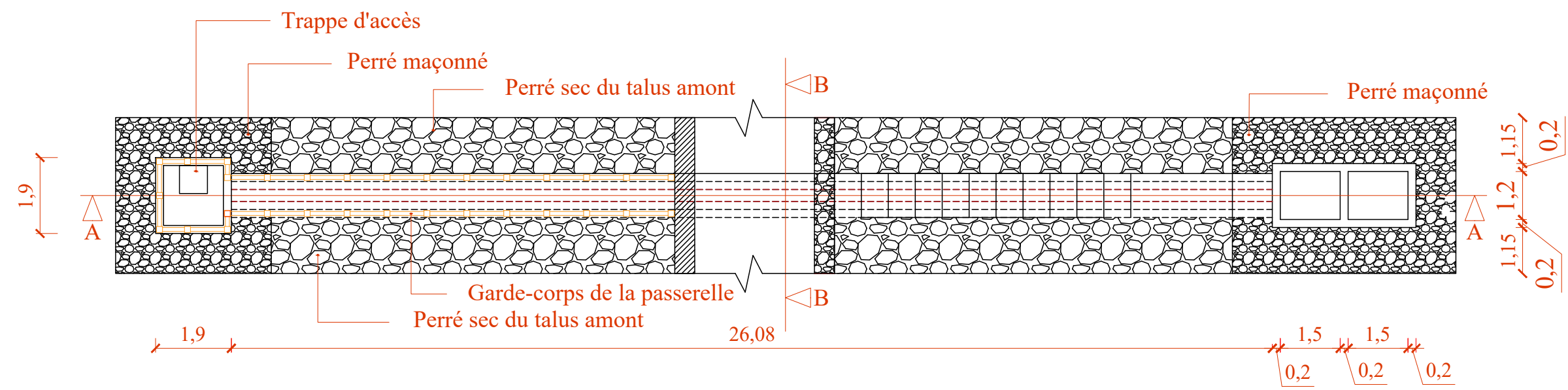
ETUDE APD POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE
DE TOUGOYIA KOKO
REGION DU NORD

MURS BAJOYERS

Date : 12/ 2020

FORMAT: A3

Plan N° 06



BURKINA FASO SECRETARIAT GENERAL DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES		Dessiné par: OUEDRAOGO Hamidou S10 IRH_ID	ETUDE APD POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE TOUGOUIYA KOKO REGION DU NORD OUVRAGE DE PRISE	Date : 12/ 2020 FORMAT: A3 Plan N° 07
---	---	--	---	--

