



**Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de
Péelé, dans la commune de Koubri, région du Centre,
Burkina Faso**

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

**SPECIALITE : GENIE DE L'EAU, DE L'ASSAINISSEMENT ET DES
AMENAGEMENTS HYDROAGRICOLES (GEAAH)**

Présenté et soutenu publiquement le 01 février 2022 par :

Harouna DIALLO (2011 1140)

Directeur de mémoire : Moussa LO, Enseignant GC, 2iE

Maître de stage : Baba OUEDRAOGO, Ingénieur du génie rural, DGIH

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

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Pr Adamah MESSAN

Membres et correcteurs :

M. Céléstin OVONO MEZUI

M. Moussa D. FAYE

Promotion 2021-2022

DEDICACES

Je dédie ce présent mémoire à

- ✚ Mon défunt père, DIALLO Hamidou qui nous a quitté très tôt. Que Dieu soit satisfait de lui ;
- ✚ Ma mère DIAO Mariame pour son soutien, ses prières, ses conseils et son attention particulière pour la réussite de tous ses enfants ;
- ✚ A toute la famille DIALLO de Pouswaka.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements à tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail et de ma formation. Il s'agit plus particulièrement de :

- ✚ L'ensemble du corps professoral et administratif de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour la qualité de la formation ;
- ✚ Monsieur LO Moussa, Enseignant au Département Génie Civil (GC), mon Directeur de mémoire 2iE, pour son assistance, sa disponibilité et tous les conseils prodigués tout au long du travail qui a abouti au présent mémoire ;
- ✚ Madame la Directrice Générale des Infrastructures Hydrauliques pour l'opportunité de stage qu'elle 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 Tidiane NIKIEMA et Achille Koudougou SEDGA respectivement directeur des études et travaux et directeur des opérations de maintenance des ouvrages hydrauliques à la DGIH pour l'accueil et pour avoir facilité le déroulement du stage ;
- ✚ Notre maître de stage, Monsieur Baba OUEDRAOGO, 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 notre intégration durant le stage ;
- ✚ Tous ceux qui de près ou de loin, ont œuvré pour l'aboutissement de ce travail et de notre formation, veuillez recevoir notre profonde gratitude.

RESUME

Le présent mémoire présente les résultats des études techniques pour la reconstruction du barrage à vocation agro-pastorale de Péelé. Situé dans la province du Kadiogo, région du centre (Burkina Faso). Ces études rentrent dans le cadre d'un programme de réhabilitation des barrages en réponse au fait que près de 40% des barrages au plan national connaissent des dégradations. Le bassin versant du barrage de Péelé couvre une superficie de 1014,15 km² drainant en moyenne 25 263 082 m³ d'eau par an. Construit en 1982 et reconstruit en 2016 sur un autre axe, le barrage a cédé en juillet 2018. Il ressort de l'étude diagnostique que la digue est dans un état de dégradation avancée, l'évacuateur de crues présentent des faïences, l'ouvrage de prise d'eau est en bon état. L'importance des dégradations observées sur les ouvrages majeurs du barrage et la volonté d'augmenter le volume de la retenue expliquent le déplacement de l'axe du barrage vers l'aval, sur une distance de 100 m en accord avec le maître d'ouvrage.

Ainsi, les études menées ont conduit à une conception et dimensionnement des ouvrages du barrage (digue, évacuateur de crues, ouvrages de vidange et de prise d'eau). Le déversoir de type poids présente une hauteur maximale de 4,75 m, une longueur de 250 m avec un débit à évacuer estimé à 454 m³/s.

A l'aval du déversoir, un bassin de dissipation à ressaut de type II USBR, d'une longueur de 5 m y sera construit. La capacité de la retenue est évaluée à 12 725 251 m³. La digue en terre à noyau étanche argileuse présente une longueur de 2410,15 m, une largeur en crête de 4 m, une hauteur maximale de 6,75 m et une pente des talus amont de 2H/1V et aval de 2,5H/1V. Deux prises d'eau en rive gauche et droite, de diamètre DN 400 et une vidange de diamètre DN 800. Le coût de reconstruction du barrage est estimé à trois milliards trois cent soixante-seize millions six cent quarante-deux mille cent dix francs (3 376 642 110) CFA TTC.

Mots Clés :

1 -Péelé

2 -Diagnostic

3 -Digue à noyau

4 -Etude technique

5 -Reconstruction

ABSTRACT

This brief presents the results of technical studies for the reconstruction of the dam for agricultural and pastoral purposes of Péelé. Located in the province of Kadiogo, Central region (Burkina Faso). These studies are part of a dam rehabilitation program in response to the fact that nearly 40% of dams nationwide are damaged. The watershed of the Péelé dam covers an area of 1,014.28 km² draining an average of 25,263,082 m³ of water per year. Built in 1982 and rebuilt in 2016 on another axis, the dam gave way in July 2018. The diagnostic study shows that the dike is in an advanced state of degradation, the spillway has earthenware, the structure water intake is in good condition. The extent of the degradation observed on the major dam structures and the desire to increase the volume of the reservoir explain the displacement of the axis of the dam downstream, over a distance of 100 m in agreement with the client.

Thus, the studies carried out led to a design and sizing of the dam structures (dyke, spillway, drain and water intake structure). The weight-type weir has a maximum height of 4.75 m, a length of 250 m with an estimated discharge rate of 454 m³ / s.

Downstream of the spillway, a 5 m long USBR type II projection dissipation basin will be built. The capacity of the reservoir is estimated at 12,725,251 m³. The earthen dike with a watertight clay core has a length of 2410.15 m, a crest width of 4 m, a maximum height of 6.75 m and a slope of the upstream embankments of 2H/1V and downstream of 2.5H/1V. Two water intakes on the left and right bank, with a diameter of DN 400 and a drain with a diameter of DN 800. The cost of rebuilding the dam is estimated at three billion three hundred and seventy-six million six hundred and forty-two thousand one hundred and ten (3,376,642,110) XOF including tax.

Key word :

1 -Péelé

2 - Diagnostic

3 - Core dyke

4 - Technical study

5 - Reconstruction

FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE PEELE

DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	
	Avant reconstruction	Après reconstruction
I. DONNEES GENERALES		
I.1. LOCALISATION		
Village	Péelé	
Commune	Koubri	
Province	Kadiogo	
Région	Centre	
Latitude	12°14'59,71"N	
Longitude	1°11'30,22"O	
Distance de Koubri	33 km	
Distance de Ouagadougou	63 km	
I.2. BASSIN VERSANT		
Superficie	1015 km ²	1014,15 km ²
Périmètre	-	172,11 km
I.3. PLUVIOMETRIE		
Pluie moyenne annuelle (Pan)	721 mm	798,88 mm
Pluie décennale humide	-	989,43 mm
Pluie décennale sèche	-	608,34 mm
Pluie journalière décennale humide (P10)	-	95,72 mm
Pluie journalière centennale humide (P100)	-	134,93 mm
I.4. DEBIT DE CRUE CARACTERISTIQUES		
Débit de crue décennale	-	143,93 m ³ /s
Débit de crue centennale (crue de projet)	300 m ³	505 m ³ /s
I.5. APPORTS LIQUIDES		
Apport d'eau annuel en année moyenne	-	25 263 082 m ³
Apport d'eau annuel en année décennale sèche	-	8 212 869 m ³
Apport d'eau annuel en année décennale humide	29 280 720 m ³	65 002 346 m ³
II. CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES DU BARRAGE		
II.1. DIGUE		
Type	Terre homogène	Digue à noyau argileux
Longueur	1330 m	2410,15 m
Cote crête	272 m	265 m
Largeur crête	3,50 m	4 m
Hauteur maximale	6 m	6,75 m
Pente talus amont	2,5H/1V	2H/1V
Pente talus aval	2,5H/1V	2,5H/1V
Protection talus amont	Perré sec	Perré sec
Protection talus aval	Perré sec	Perré sec

II.2. DEVERSOIR		
Type	Poids	Poids
Forme	Trapézoïdale	Trapézoïdale
Type de bassin de dissipation	A ressaut type II USBR	A ressaut type II USBR
Largeur du bassin de dissipation		5 m
Position	Centrale	Centrale
Longueur	185 m	250 m
Cote de calage	270,5 m	263,00 m
Largeur crête	50 cm	1,00 m
Hauteur	4 m	4,75 m
II.3. OUVRAGE DE PRISE		
Nombre	2	2
Type	Vanne aval	Vanne aval
Position	Rive droite/ rive gauche	Rive droite/ rive gauche
Nature des conduites	Fonte	Fonte
Diamètre de la conduite	300 mm/400 mm	400 mm/400 mm
II.4. CAPACITE DE LA RETENUE		
Volume du barrage	7 000 000 m ³	12 725 251 m ³
Superficie du plan d'eau	398 ha	525 ha
II.5. COUT DE REALISATION DE L'OUVRAGE (FCFA TTC)		
	-	3 376 642 110

SIGLES ET ABREVIATIONS

APD	: Avant-Projet Détaillé
APS	: Avant-Projet Sommaire
AGETEER	: Agence d'Exécution des Travaux d'Eau et de l'Equipement Rural
BERA	: Bureau des Etudes et des Recherches Appliquées
CIEH	: Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
CIGB	: Comité International de Grands Barrages
DGIH	: Direction Général des Infrastructures Hydrauliques
EIER	: Ecole Inter-Etats d'Ingénieur de l'Equipement Rural
ETM	: Evapotranspiration Maximale
ETP	: Evapotranspiration Potentielle
EIES	: Etude d'Impact Environnemental et Social
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
GID	: Générale de l'Ingénierie pour le Développement
GPS	: Global Positioning System
MEA	: Ministère de l'Eau et de l'Assainissement
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
PGES	: Plan de Gestion Environnementale et Sociale
PDIS	: Programme de Développement Intégré de la vallée de Samendeni
PMVEC	: Projet de Mobilisation et de Valorisation des Eaux de surface dans le Plateau Central
PRBA	: 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 Balès
PRPV/LB	: Projet de Restauration, de Protection et de Valorisation du Lac Bam
RI	: Relativement Imperméable
TDR	: Termes de Références
2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

TABLES DE MATIERES

DEDICACES.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE PEELE.....	v
SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
TABLES DE MATIERES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES	xi
INTRODUCTION.....	1
I. OBJECTIFS DE L’ETUDE.....	2
I.1. Objectif global.....	2
I.2. Objectifs spécifiques	2
II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D’ACCEUIL	3
III. PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....	5
III.1. Situation géographique	5
III.2. Caractéristiques physiques et naturelles.....	5
III.2.1. Relief	5
III.2.2. Pédologie du bassin versant de Péelé	6
III.2.3. Climat	6
III.2.4. Hydrographie	7
III.2.5. Végétation.....	7
III.3. Situation démographique	7
III.3.1. Effectif de la population	7
III.3.2. Migrations.....	8
IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION	9
IV.1. Matériels et logiciels	9
IV.2. Méthodes.....	9
IV.2.1. Etudes diagnostiques	9
IV.2.2. Etudes topographiques.....	9

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

IV.2.3. Etudes géophysiques et géotechniques	10
IV.2.4. Etudes pluviométriques	10
IV.2.5. Etudes hydrologiques.....	11
IV.2.6. Conception et dimensionnement du barrage.....	22
V. RESULTATS ET DISCUSSIONS	29
V.1. Etude diagnostic.....	29
V.1.1. Historique du barrage de Péelé	29
V.1.2. Caractéristiques initiales du barrage	29
V.1.3. Etat des lieux du barrage.....	30
V.1.4. Causes et conséquences des dégradations	32
V.1.5. Justification de l'option de reconstruction du barrage.....	33
V.2. Synthèse des études de base.....	33
V.2.1. Etudes socio-économiques.....	33
V.2.2. Etudes topographiques.....	34
V.2.3. Etudes géophysiques.....	36
V.2.4. Etudes géotechniques.....	37
V.2.5. Etudes pluviométriques	37
V.2.6. Etudes hydrologiques.....	39
V.3. Conception et dimensionnement du barrage	49
V.3.1. Etude de la digue	49
V.3.2. Etude de l'évacuateur de crue.....	51
V.3.3. Les ouvrages de prise d'eau et de vidange	54
V.4. Dispositif de suivi et de maintenance.....	54
V.4.1. Dispositif de suivi du barrage	54
V.4.2. Dispositif de surveillance et d'entretien	54
V.4.3. Protection du plan d'eau	55
V.5. Etude d'impacts environnementales et sociales du barrage de Péelé.....	55
V.6. Coût du projet	60
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	61
BIBLIOGRAPHIE	62
ANNEXES	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classes de bassins en fonction de la pente	12
Tableau 2 : Equation de détermination de K_{r10} avec la méthode de PUECH	15
Tableau 3 : Formules de calcul de la dégradation spécifique	21
Tableau 4: Fruit indicatif des talus des barrages stables	23
Tableau 5 : Caractéristiques initiales du barrage	30
Tableau 6 : Anomalies sur le barrage de Péelé	31
Tableau 7: Causes probables des dégradations du barrage de Péelé.....	33
Tableau 8: Description des pluies annuelles et maximales journalières	37
Tableau 9 : Synthèse de l'analyse pluviométrique.....	39
Tableau 10: Caractéristiques du bassin versant du barrage de Péelé	41
Tableau 11: Paramètres de calcul de la crue décennale	42
Tableau 12: Crues décennale selon les méthodes ORSTOM et CIEH	43
Tableau 13 : Choix de la crue décennale	43
Tableau 14 : Comparaison de quelques résultats	44
Tableau 15 : Apports liquides du bassin versant en période sèche	45
Tableau 16 : Synthèse des besoins en eau.....	46
Tableau 17: Estimation des pertes par évaporation et par infiltration	47
Tableau 18: Evaluation des dépôts solides.....	47
Tableau 19 : Principales caractéristiques de la digue.....	49
Tableau 20: Etude de la stabilité du déversoir	52
Tableau 21 : Dimensions du bassin de dissipation	53
Tableau 22: Eléments de prédimensionnement du mur de soutènement	53
Tableau 23 : Synthèse d'évaluation des impacts du projet	57
Tableau 26 : Coût du projet.....	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme de la DGIH	4
Figure 2 : Carte de localisation du village de site du barrage de Péelé.....	5
Figure 3 : Carte des sols du bassin versant de Péelé	6
Figure 4: Courbe Hauteur - Surface	35
Figure 5: Courbe Hauteur-Volume	35
Figure 6: Répartition de la pluviométrie annuelle.....	38
Figure 7 : Histogramme des Indices des Pluies Standardisées (IPS)	38
Figure 8 : Carte du bassin versant du barrage de Péelé.....	40
Figure 9 : Courbe hypsométrique de BV de Péelé.....	41
Figure 10: Hydrogramme de crue schématique	44
Figure 11 : Courbe d'exploitation de la retenue du barrage de Péelé	48

INTRODUCTION

Le Burkina Faso où l'agriculture et l'élevage constituent des secteurs qui occupent majoritairement la population rurale est soumis à des conditions climatiques particulièrement défavorables, accentuées par le changement climatique et ses corollaires. Malheureusement, ces secteurs sont soumis aux aléas climatiques, en l'occurrence la baisse de la pluviométrie ainsi que son inégale répartition spatiale et temporelle. En effet, les changements climatiques, dans le contexte du Burkina Faso, restent caractérisés par une migration sensible des isohyètes et des isothermes. Aussi, 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).

Pour faire face à ces problèmes d'eau récurrents, plusieurs politiques et stratégies sont mises en œuvre depuis les années 70 et ont permis la construction de plus d'un millier de barrages pour accompagner les populations rurales dans leurs activités agricoles, notamment de contre-saison et la satisfaction des besoins en eau pastoraux et courants des populations. Aujourd'hui, plus de 40% des ouvrages connaissent diverses formes de dégradations entraînant une forte diminution de leur capacité utile et la rupture de plusieurs barrages dont celui de Péelé objet de notre étude (DGIH, 2019).

C'est dans ce cadre que le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA) à travers la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH), conformément à la Politique Nationale des Aménagements Hydrauliques (PNAH) a entrepris, au titre de l'année 2021, des études de réalisation/réhabilitation de 52 barrages et des travaux de réalisation/réhabilitation de 19 barrages sur toute l'étendue du territoire national. Le barrage de Péelé, dans la commune de Koubri, province du Kadiogo, région du centre fait partie des barrages en étude de réhabilitation. Les études ont été confiées à un bureau d'études et notre contribution vise à faire des études techniques qui aideront la DGIH dans l'appréciation des options qui seront proposées par le consultant.

Le présent mémoire d'ingénierie permettra d'établir le diagnostic du barrage, explorer les méthodologies de conception, de faire la conception des ouvrages et les recommandations pour la pérennité du futur barrage.

I. OBJECTIFS DE L'ETUDE

I.1. Objectif global

L'objectif global de cette étude est de réaliser les études techniques d'Avant-Projet Détaillé (APD) pour la réhabilitation du barrage de Péelé.

I.2. Objectifs spécifiques

Il s'agit de façon spécifique de :

- ✓ faire le diagnostic du barrage ;
- ✓ faire la synthèse des études de base du barrage ;
- ✓ proposer une conception et un dimensionnement des ouvrages du barrage à réhabiliter assorties de plans d'exécution ;
- ✓ faire la synthèse de la notice d'impact environnemental et social du barrage ;
- ✓ établir un devis quantitatif et estimatif des travaux de reconstruction du barrage.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL

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 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 :

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

Elle comprend également des structures d'appui qui lui sont rattachées. Il s'agit notamment d'un Secrétariat de Direction (SD), d'un Service Administratif et Financier (SAF) et d'une Cellule d'Assistance (CA).

La structure est dirigée par une Directrice Générale qui est également responsable du Programme national des aménagements hydrauliques (PNAH), auquel sont rattachés des projets de développement dont :

- ✓ le projet de restauration, de protection et de valorisation du Lac Bam (PRPV/LB) ;
- ✓ le programme de développement intégré de la vallée de Samendeni (PDIS) ;
- ✓ le projet de réhabilitation de barrages et d'aménagement de périmètres irrigués et de bas-fonds dans les provinces du Boulkiemdé, du Ziro, du Sanguié et des Balès (PRBA) ;
- ✓ le projet de mobilisation et de valorisation des eaux de surface dans la région du Plateau Central (PMVEC).

La figure n°1 ci-dessous présente l'organigramme de la DGIH.

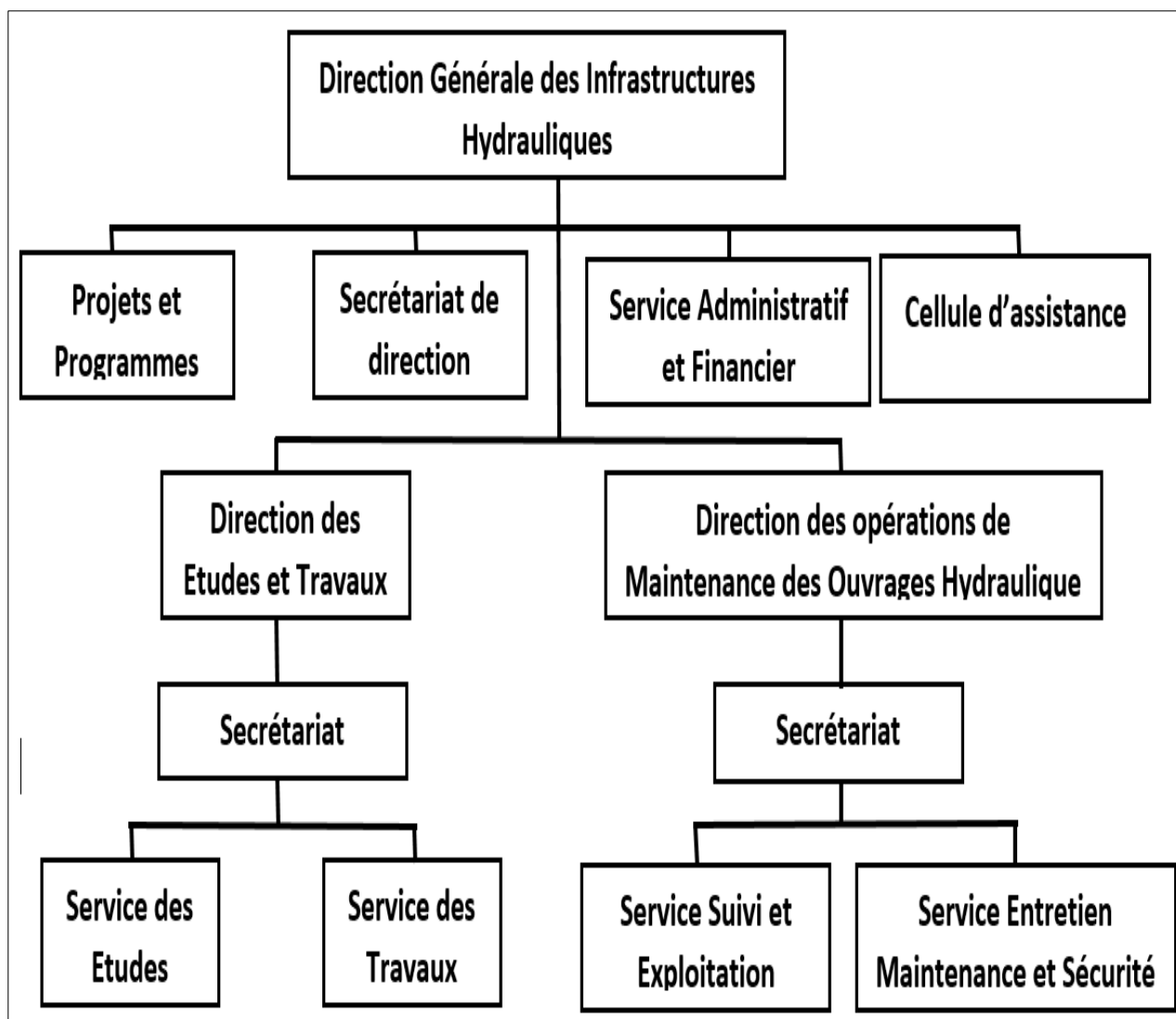


Figure 1 : Organigramme de la DGIH

III.2.2. Pédologie du bassin versant de Pélélé

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés ou appauvris sont les plus rencontrés dans la commune rurale de Koubri et occupent plus de 79% de la superficie de la commune. Il est à noter que, les sols de la commune restent majoritairement inaptes à l'agriculture (certaines variétés vivrières) mais ceci ne prend pas en compte les utilisations alternatives des sols (aspects pastoraux, sylvicoles, socio-économiques). (Commune de Koubri, 2015)

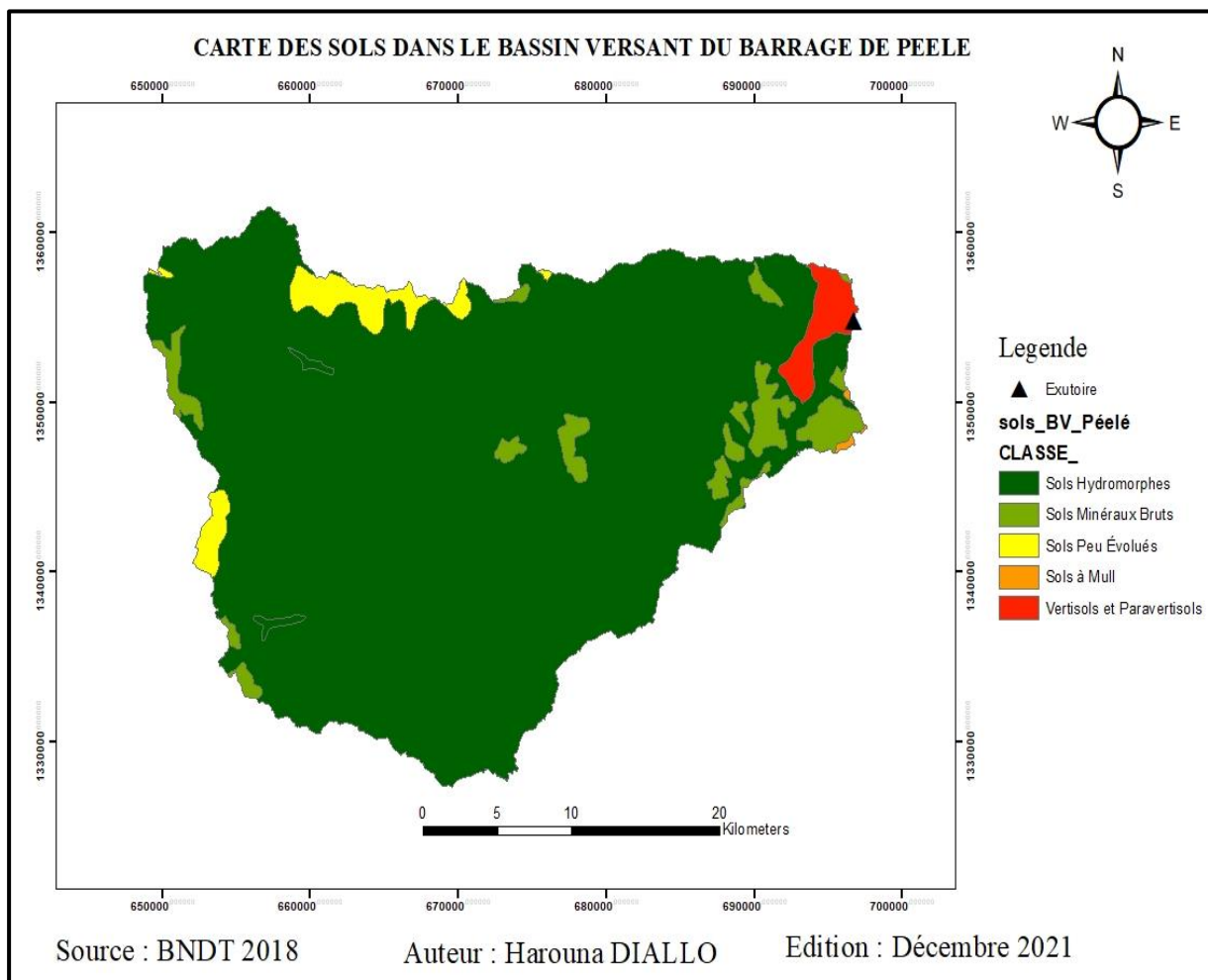


Figure 3 : Carte des sols du bassin versant de Pélélé

III.2.3. Climat

Le régime climatique dans la commune de Koubri est similaire à celle de la région du centre caractérisé par :

- ✓ une saison pluvieuse qui s'étend généralement de juin à octobre;
- ✓ une saison sèche qui va de novembre à mai.

Les moyennes pluviométriques annuelles varient entre 600 et 800 mm. Les mois de juillet et août sont les mois les plus pluvieux avec environ 60 % des précipitations. Les températures varient entre 17° et 42°C en fonction de la saison.

III.2.4. Hydrographie

La commune est drainée par un réseau hydrographique dense constitué essentiellement de bas-fonds et d'affluents périodiques. Ce sont des cours d'eau à régime pluvial tropical, fortement tributaire des précipitations. Cependant le faible encaissement des vallées dû à l'ensablement et la forte évaporation entraîne un tarissement précoce des retenues d'eau un à cinq mois après la saison des pluies. (Commune de Koubri, 2015). La commune dispose de faibles potentialités en matière de ressources hydrogéologiques en raison de la structure géologique fortement dominée par les roches plutoniques et métamorphique.

III.2.5. Végétation

La végétation de la commune de Koubri est caractérisée par la prédominance de la savane arbustive. Il existe une formation de type forestière mixte en raison de la présence marquée de l'eau. (Commune de Koubri, 2015). Les espèces les plus souvent rencontrées dans ces formations sont : *Butyrospermum paradoxum* (karité), *Lannea microcarpa* (raisinier) et *Parkia biglobosa* (néré).

Les espèces exotiques recensées par le bureau BERA sont des espèces fruitières domestiques comme les manguiers plantés et entretenus par les populations sous forme de plantations villageoises, de bosquets et de plantations individuelles pour leur intérêt alimentaire et de soins (pharmacopée). De manière générale, la végétation est sujette à une constante dégradation due aux pressions anthropiques multiples et multiformes (urbanisation, exploitation forestière, élevage, agriculture, etc.).

III.3. Situation démographique

III.3.1. Effectif de la population

La population de la commune est historiquement composée du peuple mossi organisé autour du royaume de Wogodogo avec à sa tête le Mogho Naaba. De nos jours avec l'urbanisation, près de 29% de la population se composent d'autres ethnies que les mossis.

La population de la commune de Koubri est passée de 32 331 habitants à 43 928 habitants soit un taux d'évolution de 3,1% entre 1985 et 2006. Aujourd'hui, la commune compte 60 802 habitants (RGPH, 2019) soit un taux de 2,5 % et reçoit un flux d'immigrés venu des quartiers périphériques de la capitale Ouagadougou.

La population bénéficiaire du barrage est estimée à 3 640 personnes à ce jour. Les données du recensement de 2019 n'étant pas disponible au niveau village, nous utiliserons le taux d'accroissement de 3,1% issu du recensement de 2006, soit un effectif de la population bénéficiaire estimé à 9 096 en 2 051.

III.3.2. Migrations

La dynamique de population est caractérisée par deux mouvements de population : l'émigration et l'immigration. Du fait de la proximité de la commune avec Ouagadougou, les mouvements de population sont importants. L'émigration concerne plus la population jeune. Pour des raisons de travail et de scolarité, de nombreux jeunes de Péelé partent principalement vers Koubri ou Ouagadougou. Et pour de nombreux déscolarisés ou agriculteurs, l'absence de travail rémunérateur en saison sèche surtout avec la rupture du barrage, constituent une des raisons de leur départ vers d'autres localités du pays mais aussi des pays voisins comme le Ghana et la Côte d'Ivoire. La réhabilitation du barrage est un facteur d'atténuation de ce phénomène en ce sens qu'elle permettra de relancer les activités socio-économiques au profit des populations des villages environnants du barrage.

IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

IV.1. Matériels et logiciels

Dans le cadre de cette étude un ensemble d'outils a été utilisé. Il s'agit de :

- ✓ un ordinateur comme support pour les application et logiciel de traitement des données ;
- ✓ Google Earth pour la localisation et l'indication de l'itinéraire du site ;
- ✓ l'image satellitaire (Model Numérique de Terrain) de la zone du projet ;
- ✓ GPS pour relever les coordonnées sur le site ;
- ✓ ArcGis 10.5 : pour délimiter le bassin versant et éditer les différentes cartes ;
- ✓ CLIMWAT 2.0 for CROPWAT : pour la détermination des coefficients culturaux ;
- ✓ données climatiques de la station synoptique de Ouagadougou Aéroport ;
- ✓ HYFRAN-PLUS pour l'ajustement de la pluviométrie ;
- ✓ CYPE 2016 : pour dimensionner les murs bajoyer ;
- ✓ AutoCAD et Covadis pour l'élaboration des différents plans et coupes ;
- ✓ Geoslope pour vérifier la stabilité des pentes des talus de la digue ;
- ✓ le pack office pour les calculs et la rédaction du rapport.

IV.2. Méthodes

Pour mener à bien les présentes études, la méthodologie utilisée pour conduire l'étude a consisté d'abord à faire le diagnostic du fonctionnement des différentes parties du barrage. La suite est marquée par la réalisation des études de base pour le redimensionnement des ouvrages du barrage et, enfin, la proposition de réhabilitation du barrage assortie d'un plan de suivi et de gestion du barrage.

IV.2.1. Etudes diagnostiques

Cette partie a fait l'objet d'une recherche documentaire sur l'ouvrage et une visite terrain. Cette dernière nous a permis non seulement d'identifier et de décrire les dégradations et anomalies constatées sur les ouvrages du barrage, mais aussi et surtout de déterminer les différentes causes probables et conséquences de ces dégradations. Certaines données pour la réalisation des études de base ont été collectées au cours de cette phase.

IV.2.2. Etudes topographiques

Les levés topographiques ont été réalisés par le bureau d'études « Bureau d'Etudes et de Recherches Appliquées » (BERA) qui a mis à notre disposition, sur recommandation de la structure d'accueil, un fond topographique de la cuvette du barrage. Les courbes de niveaux ont été converties en image raster afin d'estimer les surfaces et les volumes.

IV.2.3. Etudes géophysiques et géotechniques

Les études géophysiques et géotechniques ont été également réalisées par le bureau BERA qui nous a fourni des informations relatives à la profondeur de la tranchée d'ancrage ainsi que la capacité et la position des zones d'emprunts.

IV.2.4. Etudes pluviométriques

L'étude des pluies a été faite à partir des données recueillies (pluies annuelles, pluies maximales journalières et l'évaporation) à la station pluviométrique de Ouagadougou qui est la station la plus proche disposant des séries de données suffisantes pour des analyses statistiques. Ces données couvrent la période 1952 à 2020 (Pluies annuelles) et 1952 à 2019 pour les pluies maximales journalières. L'analyse a permis d'identifier le régime hydrologique associé à la zone du projet sur la base des régimes ci-dessous définis par Rodier (FAO, 1996.) :

- ✓ régime désertique, au nord de l'isohyète 100 mm ;
- ✓ régime subdésertique, entre les isohyètes 100 et 300 mm ;
- ✓ régime sahélien, entre les isohyètes 300 et 750 mm ;
- ✓ régime tropical sec, entre les isohyètes 750 et 1000 mm.

IV.2.4.1. Analyse de la tendance de la pluviométrie annuelle

L'analyse des données pluviométriques a également permis de faire une appréciation globale de la tendance des précipitations à travers les indices de pluies standardisées (IPS) dont la formule de calcul est donnée par :

$IPS = \frac{P - \bar{P}}{\sigma}$	Pi : Cumul pluviométrique de l'année i, $\bar{P}$: Pluie moyenne annuelle de la série chronologique, σ : écart type standard de la série.
------------------------------------	--

A partir des IPS, on distingue les années excédentaires ($IPS > 0$) des années déficitaires ($IPS < 0$).

IV.2.4.2. Analyse statistique des données de pluie

A la suite de cette caractérisation, une analyse statistique des deux séries (pluies annuelles et pluies maximales journalières) a permis de déterminer les quantiles pour différentes périodes de retour. Les variables pluviométriques ont été analysées avec le tableur Excel et le logiciel HYFRAN Plus. Les méthodes ci-dessous ont été utilisées pour l'analyse des pluies.

Loi normale ou la loi de GAUSS

La série des données pluviométriques annuelles a été ajustée avec la loi normal ou GAUSS sur un échantillon de 68 valeurs valides de 1952 à 2020. Sa fonction de répartition est la suivante :

$F(x) = \text{Prob}\{X \leq x\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2u^2}} du$	$u = \frac{x-\bar{x}}{S}$: Variable réduite de GAUSS ; $\bar{x}$: Moyenne de l'échantillon ; S = Ecart-type de l'échantillon
--	--

Les quantiles sont calculés par la formule suivante :

$$X_p = \bar{x} + u_p \times S$$

u_p est lu en fonction de la valeur de fréquence au non-dépassement.

Loi de GUMBEL

La série des données pluviométriques maximales journalières a été ajustée avec la loi GUMBEL sur un échantillon de 67 valeurs valides de 1952 à 2019. Sa fonction de répartition est la suivante :

$F(x) = e^{-e^{-a \times (x-x_0)}}$	$u = a \times (x - x_0) = -\ln(-\ln(F(x)))$: Variable réduite. x_0 : Paramètre de position, a : Paramètre d'échelle $\frac{1}{a} = 0,780 \times \sigma$ et $X_0 = \bar{x} - \frac{0,577}{a}$ $\bar{x}$: Moyenne de l'échantillon, σ : Ecart-type de l'échantillon.
Les quantiles sont calculés par la formule suivante :	$X_p = \frac{U_p}{a} + X_0$

IV.2.5. Etudes hydrologiques

IV.2.5.1. Caractéristiques du bassin versant

Les caractéristiques morphologiques du bassin versant (Surface et Périmètre) alimentant le barrage de Péel ont été déterminées à partir des modèles numériques de terrain. Ainsi, à partir des formules empiriques décrites dans le bulletin 54 de la FAO relatif à l'estimation des crues et apports (FAO, 1996), nous avons calculé les caractéristiques ci-dessous du bassin versant :

Coefficient de GRAVELUS

Appelé également coefficient de forme, il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie et il s'exprime comme suit :

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

P : Périmètre du bassin versant en km ;

S : Superficie du bassin versant en km².

Longueur et largeur du rectangle équivalent

C'est la longueur qu'aurait un rectangle de même dimensions (Surface et Périmètre) que le bassin versant. Sa longueur et largeur en km sont données par les formules suivantes :

$$L \text{ (km)} = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4}$$

L : la longueur du rectangle équivalent [km] ;

Et

l : largeur du rectangle équivalent [km] ;

$$l \text{ (km)} = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16S}}{4}$$

P : Périmètre du bassin versant en km ;

S : Superficie du bassin versant en km².

Pente moyenne

La formule de calcul de la pente moyenne est la suivante :

$$I_{\text{moy}} \text{ (m/km)} = \frac{\Delta H}{\sqrt{S}}$$

  H : Dénivelé entre le point le plus haut et le point le plus bas ;

S : Superficie du bassin versant en km².

L'ORSTOM (actuellement IRD : Institut de Recherche pour le Développement) a défini 6 classes de bassins versants en fonction de la pente longitudinale moyenne :

Tableau 1: 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
R6	Bassins de pentes très fortes : pentes longitudinales supérieures à 5��, pentes transversales supérieures à 20��. Ce sont des régions de montagnes

Indice global de pente et pente transversale

L'indice global de pente caractérise le relief du bassin versant. Il est défini par la formule :

$$I_g \text{ (m/km)} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

L : Longueur du rectangle équivalent exprimé en km ;

H_{5  } (m): Altitude correspondant à 5   de la superficie

du bassin versant lu sur la courbe hypsométrique ;
 $H_{95\%}(m)$: Altitude correspondant à 95% de la superficie
 du bassin versant lu sur la courbe hypsométrique.

Dans notre cas, la longueur du rectangle équivalent est très différente de la longueur du thalweg le plus long. Ainsi, l'indice de pente global représente très mal la pente du bassin et nous avons utilisé la largeur du rectangle équivalent pour la détermination de l'indice global de pente.

Densité de drainage Dd et dénivelé spécifique Ds

La densité de drainage est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Le dénivelé spécifique est le produit de l'indice de pente global I_g (I_{gcorr}) par la racine carrée de la superficie du bassin (S).

$D_d(km/km^2) = \frac{\sum l_i}{S}$	$\sum l_i$: Longueur totale du réseau hydrographique du bassin versant en km ; Dd : densité de drainage en (m/km ²) ;
$D_s(m) = I_{gcorr} \times \sqrt{S}$	Ds : dénivelé spécifique en (m) S : Superficie du bassin versant en km ² ; I_{gcorr} : Indice global des pentes corrigé en m/km ;

Suivant la valeur du dénivelé spécifique (Ds), on distingue trois types de relief (FAO, 1996) à savoir :

- ✓ Relief faible : $D_s < 50$ m, Relief modéré : $50 \text{ m} < D_s < 100$ m ;
- ✓ Relief fort : $100 \text{ m} < D_s$.

Classe d'infiltrabilité des sols

En se référant à la nature du substratum du bassin qui est composée de roche imperméable d'une part (Granite, Argile,) et de sols perméables d'autre part (Sable), on peut classer le bassin versant dans la classe d'infiltration P3 ou RI qui désigne un bassin versant relativement imperméable, suivant la classification de (H. KARAMBIRI et D. NIANG, 2011).

P1 (TI) : bassins rigoureusement imperméables, entièrement rocheux ou argileux ;

(PI) : bassin naturel particulièrement imperméable ;

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 de graminées ;

P5 (TP) : bassins très perméables, sables éoliens, sables sans pellicules et sans végétation.

IV.2.5.2. Prédétermination de crue de projet

Du point de vue hydrologique, le cours d'eau n'est pas jaugé à la section du barrage de Péelé. La détermination des débits de crue est faite par la méthode déterministe de l'ORSTOM de AUVRAY et RODIER et celle dite de régression linéaire de PUECH et CHABBI ou méthode CIEH décrites dans le manuel de détermination des crues et apport de la FAO (FAO, 1996).

Détermination des paramètres de calcul de la crue décennale

Pluies journalière décennale P_{10} et journalière centennale P_{100}

Les pluies décennale P_{10} et centennale P_{100} sont assimilées aux pluies journalières de même fréquence. Elles sont déterminées à partir d'ajustements statistiques effectués sur les observations pluviométriques de la station de Ouagadougou.

Coefficient d'abattement A

Ce coefficient d'abattement permet de passer, pour une fréquence donnée (fréquence décennale par exemple), d'une hauteur de pluie ponctuelle à une hauteur moyenne calculée sur une certaine superficie (Bassin versant). Il est calculé suivant l'équation simplifiée de Villaume (1974) :

$$A = 1 - \left(\frac{161 - 0,042 \times \text{Pan}}{1000} \right) \times \log_{10}(S)$$

A : coefficient d'abattement ;

T : Période de retour décennale = 10 ans ;

S : Surface du bassin versant en km^2 ;

Pan : Pluie moyenne annuelle en mm.

Temps de base (T_{b10}), temps de montée (T_{m10})

Les temps de base et de montée des eaux à l'exutoire du barrage sont également déduits des abaques de la méthode d'Auvray et Rodier.

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 pur de la crue (J. C. BEGOU, 2010.). Les relations proposées et les courbes de la figure 17, (FAO, 1996) donne : $Tb = a S^{0,36} + b$

Les coefficients a et b sont des paramètres fonction de l'indice global de pente, de la perméabilité et de la zone d'appartenance climatique du bassin versant. Pour déterminer la valeur de Tb dans notre cas, nous allons interpoler entre les valeurs d'indice de pente encadrant I_{gcor} de notre bassin versant. Le temps de monté Tm est le temps qui s'écoule entre le début du ruissellement et le maximum de la crue. Dans la zone tropicale sèche, par absence de particularités physiographiques, on peut considérer que le temps de montée représente le tiers du temps de base : $T_{m10} = 0,33 \times Tb_{10}$. (FAO, 1996).

Coefficient de ruissellement décennal K_{r10}

Pour un évènement pluie-débit, c'est le rapport de volume de ruissellement au volume précipité. Ce coefficient est très difficile à estimer et son évaluation se base sur des critères relativement subjectifs. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour la détermination de K_{r10} .

✓ Méthode ORSTOM de PUECH et CHABI-GONNI

Cette méthode est fonction de la zone climatique, du substrat et utilise des résultats de régressions obtenues ; ceci sur la base de substrat géologique et de la précipitation annuelle. (Tableau 2)

Tableau 2 : Equation de détermination de K_{r10} avec la méthode de PUECH

Catégorie	Equations
Granite+ Gneiss	$K_{r10} = 2300P_{an}^{-0.67}$
Grès	$K_{r10} = 300P_{an}^{-0.375}$
Sables	$K_{r10} = 2 \cdot 10^7 P_{an}^{-2.2}$
Argiles	$K_{r10} = 300P_{an}^{-0.30}$
Schistes	$K_{r10} = 370P_{an}^{-0.375}$

$K_{r10} = \sum_{i=1}^n a_i \times K_i$ a_i la proportion du sol de catégorie i par rapport à la superficie totale du bassin versant et K_i son K_{r10}

Source : (FAO,1996)

✓ Méthode ORSTOM de AUVRAY et RODIER

Cette méthode permet par interpolation entre les coefficients de ruissellement K_{r70} et K_{r100} en fonction de la zone climatique, de la superficie du bassin versant, de la perméabilité du sol et de l'indice global de pente I_g de calculer K_{r10} . Pour une précipitation décennale ponctuelle P_{10} différente de 70 et 100 mm, l'estimation du coefficient de ruissellement K_{r10} est faite par interpolation linéaire entre les valeurs K_{r70} et K_{r100} . Ces valeurs sont déterminées à partir de formules suivantes :

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

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

Coefficient de pointe décennal α_{10}

Le coefficient de pointe, rapport du débit maximum ruisselé Q_{r10} au débit moyen ruisselé Q_{mr10} est défini par la relation : $\alpha_{10} = \frac{Q_{r10}}{Q_{mr10}}$. On admet que α_{10} est voisin de 2,6 quelle que soit la superficie du bassin.

Calcul de la crue décennale

✓ Méthode de ORSTOM de AUVRAY-RODIER

Dans la méthode, le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation :

$Q_{r10} = A \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{T_{b10}}$ $Q_{10} = m \times Q_{r10}$	A : Coefficient de G. VILLAUME Kr₁₀ : Coefficient de ruissellement décennal ; S : Surface du bassin versant en km² ; P₁₀ : Pluie maximale journalière décennale en mm ; T_{b10} : Temps de base décennal en min ; m : Coefficient de majoration qui est fonction de la zone climatique et de la taille du bassin versant ; α₁₀ : Coefficient de pointe pris égal à 2,60.
--	---

✓ Méthode CIEH dite PUECH et CHABI-GONNI

En 1983, **PUECH** et **CHABI-GONNI** ont proposé une méthode statistique, connue depuis sous le nom de méthode CIEH et basée sur 162 bassins versants dont l'origine vient essentiellement du recueil de Dubreuil (1972) sur les bassins expérimentaux. La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe décennal Q₁₀ est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$Q_{10} = a \times S^b \times I_{gcorr}^c \times K_{r10}^d \times P_{an}^e \times \dots$	a, b, c, d et e des coefficients d'ajustement déterminés par régressions multiples ; S : Surface du bassin versant en km² ; P_{an} : Pluie annuelle moyenne en mm ; I_{gcorr} : Indice global de pente corrigé en m/km ; Kr₁₀ : Coefficient de ruissellement décennal en % ayant servi dans la méthode de ORSTOM.
--	--

🌈 Détermination de la crue de projet

Cette méthode du Gradex de GUILLOT et DUBAND adaptée par GRESILLON, HERTER et LAHAYE permet l'estimation de la crue centennale en multipliant les crues décennales par un coefficient majorateur donné par la formule suivante :

$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{\left(\frac{T_{b10}}{24}\right)^{0,12}}{K_{r10}}$ $Q_{100} = C \times Q_{10}$	Kr₁₀ : Coefficient de ruissellement décennal ; P₁₀ : Pluie maximale journalière décennale en mm ; P₁₀₀ : Pluie maximale journalière centennale en mm ; T_{b10} : Temps de base décennal en heure (h) ;
---	---

Q_{10} : la crue décennale ;
 C : coefficient du Gradex.

Hydrogramme de la crue de projet

C'est un graphique de variation du débit en fonction du temps durant une crue. L'hydrogramme de la crue du projet sera en trois tronçons linéaires construit avec les temps de base et de montée précédemment déterminé (Grésillon et al, 1977). Le changement de pente de la décrue s'effectue à un débit Q dit débit de discontinuité qui est estimé par la relation suivante :

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

T_{b10} : Temps de base décennal en min ;
 α_{10} : Coefficient de pointe pris égal à 2,60 ;
 T_{m10} : Temps de montée en min ;
 Q : débit de discontinuité en m^3/s ;
 Q_{max} : Crue de projet retenue en m^3/s .

Crue de rupture

Elle désigne la crue que le barrage doit supporter dans les conditions exceptionnelles sans subir des dommages sur son état de fonctionnement. Le Comité International des Grands Barrages (CIGB) propose la formule approchée ci-dessous pour l'estimation de la crue de rupture d'un barrage :

$$Q_{rupt} = 2 \times l \times (a + 0,20)^{1,5} + 0,15 \times L$$

Avec

- ✓ L : Longueur de la digue sans le déversoir en m ;
- ✓ l : Longueur du déversoir en m ;
- ✓ a : Revanche totale (charge au-dessus du déversoir + revanche libre) en m.

Crue de sécurité

Nous calculerons d'abord la période de retour afin d'utiliser les quantiles pour la détermination de la crue de sécurité par la méthode de gradex.

Pour le choix de la durée de retour, liée à la crue de sécurité, nous utiliserons le paramètre du risque intrinsèque recommandé par la CIGB, avec :

$H^2\sqrt{V}$ H : hauteur de la digue (m)
 V : volume de la cuvette (hm^3)

Evaluation des apports liquides du bassin

Les apports liquides sont la quantité d'eau susceptible d'arriver à l'exutoire du barrage pendant une période considérée. Il est important de connaître les apports liquides annuels qui vont permettre de dimensionner des réservoirs adaptés aux caractéristiques hydrologiques du bassin versant. Ces apports peuvent être évalués par la formule ci-dessous :

$V = K_e \times S \times P$	V : volume d'eau à l'exutoire ;
Et	K_e : Coefficient d'écoulement ;
$K_e = \frac{L_e}{P}$	S : Superficie du bassin versant ;
	P : Pluviométrie de période considérée ;
	L_e : Lamme d'eau ruisselée au cours de la période.

La lame ruisselée est le reste de la pluie déduite du déficit d'écoulement (D). L'estimation de la lame ruisselée a été fait par la méthode de Rodier (FAO, 1996) puis par celle du déficit d'écoulement à travers la formule de Coutagne (H. KARAMBIRI et D. NIANG, 2011).

✓ Méthode de Rodier

Cette méthode se fonde sur le concept de bassin type. En fonction de la zone climatique et du bassin type, des courbes de distribution statistique des lames écoulées sont construites pour des hauteurs pluviométriques annuelles de fréquence médiane variant entre 750 et 1000 mm en fonction des fréquences au dépassement. Suivant ces caractéristiques, le bassin du barrage de Péelé s'identifie à celui de Koulouoko à Niégaha (bassin type de Boulsa). Les lames écoulées de fréquence médiane, décennale sèche et décennale humide correspondant respectivement à $P_{med} = 750$ mm et $P_{med} = 1000$ mm ont été estimées. Le calcul de la lame écoulee (L_e) rapportée à la pluie médiane P_{med} , s'est fait par interpolation logarithmique (Log10) suivant le système d'équations :

$$\text{Log}(L_{e_{med}}) = \text{Log}(L_{e_{750}}) + (\text{Log}(L_{e_{1000}}) - \text{Log}(L_{e_{750}})) + (P_{med} - 750) / (1000 - 750)$$

$$L_{e_{med}} = 10^{\text{Log}(L_{e_{med}})}$$

✓ Méthode du déficit d'écoulement avec la formule de Coutagne

$$L_e \text{ (mm)} = P_{an} \text{ (mm)} - D \text{ (mm)} ;$$

Avec

- ⇒ P : Pluviométrie moyenne annuelle ;
- ⇒ L_e : Lamme d'eau écoulee annuellement ;
- ⇒ D : Déficit d'écoulement annuel qui vaut :

$$D(m) = \begin{cases} P_{an}(m) - \lambda P_{an}^2(m) ; \text{ si } P_{an}(m) \in [\frac{1}{8\lambda}; \frac{1}{2\lambda}] \\ P_{an}(m) ; \text{ Si } P_{an}(m) < \frac{1}{8\lambda} \\ 0,2 + 0,035 \times T ; \text{ Si } P_{an}(m) > \frac{1}{2\lambda} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{1}{0,8+0,14 \times T}$$

$\Rightarrow T$: Température moyenne annuelle

Pour le calcul des apports annuels en années sèches, les coefficients d'écoulement en année quinquennale et décennale sèches ont été estimés à partir des corrélations ci-dessous utilisées par l'ONBAH [H. KARAMBIRI et D. NIANG, 2011].

$\Rightarrow K_e$: Coefficient d'écoulement en année moyenne ;

$\Rightarrow K_{e5} = 0,7 \times K_e$: Coefficient d'écoulement en année quinquennale sèche ;

$\Rightarrow K_{e10} = 0,5 \times K_e$: Coefficient d'écoulement en année décennale sèche.

IV.2.5.3. Etude de la cuvette

Evaluation des besoins

Besoins humains

La zone du projet est principalement alimentée en eau à partir de forages à travers des systèmes d'adduction d'eau potable simplifié (AEPS) et pompes à motricité humaines (PMH). Les besoins humains pris en compte dans le cadre du présent projet se résument donc aux prélèvements pour des activités domestiques. En se référant aux données du CREPA, on admettra l'utilisation de l'eau brute de 40 litres par jour et par habitant en milieu rural. La population à l'horizon du projet a été estimée par projection à partir de la population de l'année 2019 et le taux d'accroissement dans la commune à l'horizon 2051. L'effectif de la population ainsi que leur besoin sont évalués avec les relations ci-dessous.

$P_n = P_0 \times (1 + \alpha)^n$	P_n : Population à l'année n (année généralement d'échéance du projet) ;
$C_{jn} = C_j \times P_n$	P_0 : Population à l'année de référence ;
	α : Taux d'accroissement de la commune ;
	n : nombre d'année considérées à partir de l'année de référence ;
	C_{jn} : consommation des populations par jour à n année ;
	C_j : consommation par habitant et par jour.

Besoins pastoraux

Le calcul des besoins pastoraux s'est basé sur l'effectif du cheptel issu de l'étude socioéconomique avec une hypothèse de 40 l/jour et 15 l/jour par tête respectivement pour les gros bétails et les petits ruminants.

Besoins agricoles

L'agriculture constitue l'une des principales activités économiques de la zone du projet. Elle est pratiquée en saison sèche et pluvieuse. Nous évaluerons ces besoins en eaux pour une superficie estimée à 250 ha qui sera aménagée en aval du barrage. Les besoins de chaque spéculation sont estimés par mois durant son cycle et pour la synthèse nous considérons la consommation maximale mensuelle possible afin de pouvoir estimer la demande maximale en eau d'irrigation pouvant avoir lieu au niveau du périmètre. Ce qui a également permis de dimensionner la conduite de prise d'eau en conséquent.

$ETM = K_c \times ETP$	BB : Besoins Brute, BN : Besoins Net, ETM :
$BN = ETM - P_e$	Evapotranspiration Maximale, P_e : Pluie efficace,
Si $P < 20 \text{ mm} \Rightarrow P_e = P$ et Si $P > 20 \text{ mm} \Rightarrow P_e = 0,8 \times P$	K_c : coefficient cultural (fonction de la culture et de son stade de développement),
$BB = \frac{BN}{n_G}$	ET0 : Evapotranspiration de référence,
	E : efficience du réseau d'irrigation.

🚦 Evaluation des pertes par évaporation et par infiltration sur la retenue

Les données d'évaporation utilisées sont issues de la station synoptique de Ouagadougou qui est la plus proche de la zone d'étude. Il s'agit de données d'évaporation moyenne mensuelle ($E_{\text{bac, A}}$) pour la période 1980 à 2017. Les pertes par évaporation sur la retenue sont évaluées par la formule ci-après définie par **Bernard POUYAUD**.

$$E_{\text{retenue}}(\text{mm/j}) = 1,664 \times E_{\text{bac A}}^{0,602}$$

$E_{\text{bac A}}$: Evaporation au bac de classe A en mm/j

Pour les pertes par infiltration dans la cuvette, nous n'avons pas eu de données statistiques sur la zone d'étude. Nous allons nous limiter aux valeurs généralement utilisées au Burkina Faso qui varie de 1 à 3 mm (**J. M. DURAND et P. ROYET, 1999.**).

Dans notre étude, nous avons fixé une valeur d'infiltration de 2 mm/j pour tenir compte qu'il s'agit d'une réhabilitation et que des dépôts d'argile déjà dans la cuvette pourra atténuer les infiltrations dans la cuvette.

Evaluation des pertes par dépôts solides

Les eaux qui ruissellent dans le bassin versant entraînent avec elles des matériaux solides arrachés le long de leurs parcours. Ces particules vont se déposer au fond de la cuvette avec pour conséquence la diminution progressive de sa capacité de stockage. Des formules empiriques permettent d'estimer la dégradation spécifique au nombre desquelles celles de GRESILLON modifiée ou formule de KARAMBIRI, de l'EIER-CIEH (GRESILLON) et de GOTTSCHALK ont été utilisées. Pour la suite des études la valeur moyenne des résultats obtenus par les trois méthodes est retenue.

Tableau 3 : Formules de calcul de la dégradation spécifique

Auteurs	Formules
Formule de GOTTSCHALK (USA)	$D = 260 \times S^{-0,1}$
Formule de KARAMBIRI	$D = 137 \times \left(\frac{P}{700}\right)^{-2,02} \times S^{-0,05} \times [0.25 + 1.13(h + r)]^{1,15}$
Formule de l'EIER-CIEH ou de GRESILLON	$D = 700 \times \left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2} \times S^{-0,1}$
Apports solides	$V = D \times S$
⇒ D : Dégradation spécifique annuelle en m³/an/km² ; ⇒ S : Superficie du bassin versant du barrage de Péelé en km² ; ⇒ P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm ; ⇒ h : Paramètre anthropique (0,6) probabilité d'extension moyenne de villes ou villages sur le bassin ; ⇒ r : Paramètre morphologique (0,50) pour les bassins versants a relief moyennement accidenté ⇒ V : Volume annuel de dépôts solides (m³/an).	

Caractéristiques de la cuvette du barrage de Péelé

À partir d'un fond topographique fourni par le bureau d'étude, la superficie de la cuvette et le volume de la retenue d'eau a été estimé. La courbe hauteur-surface est dressée sur la base de la planimétrie des différentes courbes de niveau de la cuvette et la courbe hauteur-volume dérive du cumul des volumes partiels compris entre deux courbes de niveau successives. Le volume partiel est obtenu par la relation suivante :

$V_i = \frac{(S_{i-1} + S_i) \times \Delta h}{2}$	V_i : Volume du d'eau en m ³ entre les courbes de niveau i-1 et i ;
	S_i : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe i (m ²) ;
	S_{i-1} : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe i-1 (m ²) ;
	Δh : Dénivelée entre deux courbes de niveau i et i-1 (m).

Le volume total de la retenue est obtenu en faisant la somme des volumes partiels.

Courbe d'exploitation de la retenue

La courbe d'exploitation de la retenue est tracée à partir de la synthèse des besoins en eau en m^3 d'une part et la synthèse des pertes (infiltration et évaporation) et les pluies directes sur la retenue en mm chaque mois de novembre à mai. Elle est établie à partir de la courbe hauteur volume de la retenue d'eau. Elle nous donne un aperçu de l'évolution de la capacité de la retenue en fonction des périodes (mois).

IV.2.6. Conception et dimensionnement du barrage

IV.2.6.1. Etude de la digue

Hauteur de la digue (E)

La hauteur de la digue est égale à la hauteur au Plan d'Eau Normal majorée de la charge maximale (h) au-dessus du déversoir et de la revanche libre (R). La hauteur au PEN est la différence entre la côte de la crête du déversoir et celle du fond de la cuvette. Elle se détermine à partir de l'équation ci-dessous :

$$E = H + h + R$$

Effets des vagues et revanche libre R

La revanche libre (R) est une tranche comprise entre le PHE et la crête du barrage. Le calcul de la revanche tient compte de la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau et la projection de l'eau vers le haut du barrage due à la vitesse de propagation des vagues lorsque celles-ci rencontrent le barrage. La hauteur des vagues provoquées par les vents dans la retenue dépend de la vitesse du vent, de la durée du vent, du fetch (longueur du plan d'eau exposée au vent), de la profondeur de l'eau et de la largeur du plan d'eau (M L. COMPAORE, 1996).

Plusieurs formules empiriques permettent d'évaluer la hauteur des vagues en fonction de la longueur du plan d'eau (Fetch) aux nombres desquelles on peut retenir la formule de Mallet et Pacquant.

$R = A \left[h_v + \frac{v_v^2}{2g} \right]$	g : Accélération de la pesanteur prise égale à $9,81 \text{ m/s}^2$
$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} f^{0.5}$	A : Coefficient de sécurité pris égal à $0,75$
$v_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} h_v$	f : « fetch », la longueur du plan d'eau normale en km
	h_v : Hauteur des vagues en m
	V_v : Vitesse de propagation des vagues en m/s

Largeur en crête de la digue

La largeur en crête doit être suffisante pour autoriser la circulation d'engins pour la finition de

l'ouvrage et ultérieurement pour son entretien. En pratique, la largeur en crête (l_c) est supérieure à 3 mètres. Des formules empiriques, présentées ci-dessous, permettent sa détermination :

- Formule de KNAPPEN :	$l_c (m) = 1,65 \times \sqrt[2]{E}$	E : la hauteur maximale de la
- Formule de PREECE :	$l_c (m) = 1,1 \times \sqrt[2]{E} + 1$	digue en m ;
- Autres formules :	$l_c = \frac{1}{3} \times E$	l_c : la largeur en crête de la digue
	$l_c = 3,6 \times \sqrt[3]{E} - 3$	

Pente des talus

La digue sera principalement en matériaux argileux compacté et les pentes des talus sont retenues selon les conditions de stabilités mécaniques du massif et de ses fondations suivant les indications du tableau ci-dessous (C.F.G.B., 2002).

Tableau 4: Fruit indicatif des talus des barrages stables

Hauteur du barrage (m)	Type de barrage	Talus	
		Amont	Aval
Inférieure à 5	Homogène	1/2,5	1/2
	A zones	1/2	1/2
Entre 5 et 10	Homogène, granulométrie étendue	1/2	1/2
	Homogène à fort % d'argile	1/2 ,5	1/2,5
	A zones	1/2	1/2,5
Entre 10 et 20	Homogène, granulométrie étendue	1/2 ,5	1/2,5
	Homogène à fort % d'argile	1/3	1/2,5
	A zones	1/2	1/3

Calcul de la largeur en base de la digue

Elle est obtenue par la formule suivante :

$L_b = L_c + E \left(\frac{1}{\tan \alpha 1} + \frac{1}{\tan \alpha 2} \right)$	L_b : Largeur en base de la digue ; l_c : Largeur en crête de la digue ; E : hauteur de la digue ; $\tan \alpha 1$ et $\tan \alpha 2$: respectivement pente des talus amont et aval (1/2 et 1/2,5).
--	---

Epaisseur de la couche de protection

L'épaisseur minimale de l'enrochement se calcule comme suite :

$e = 1,5 \times D_{50}$	e : l'épaisseur de la couche de protection ; D_{50} : fonction de la hauteur des vagues.
-------------------------	---

Evaluation des poids des enrochements

Les talus doivent être protégés contre les dangers provoqués par les vagues de la retenue, par le ruissellement de la pluie ou par les vents. Il faut prévoir parfois une protection pour les talus aval, amont et la crête de la digue. Dans le cadre de ce projet, il est prévu une protection des talus en enrochement. La formule de **Hudson** est utilisée pour l'estimation du poids des enrochements :

$P = \frac{\rho \times hv^3}{[K_p \times \text{tg}^{-1}(\alpha)] \times [d - 1]^3}$	K_p : coefficient de poussé ($K_p = 5$) ; α : l'angle d'inclinaison du talus ; hv : la hauteur des vagues ; ρ : le poids volumique des enrochements ; d : la densité des enrochements ; P : le poids des enrochements par m.
---	---

Infiltration et hydraulique interne

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

$$y = 2 \times x \times y_0 + y_0^2 \text{ avec } y_0 = (H_d^2 + d^2)^{0.5} - d$$

- d : Paramètre fonction de la longueur de fondation L_f de la digue en m ;
- H_d : Hauteur de la retenue au droit où la hauteur de la digue est maximale en m.

Pour déterminer les infiltrations, nous avons déterminé le débit de fuite noté q qui vaut :

$$q = k_r \times y_0$$

- y_0 : les points d'intersection de l'axe des ordonnées avec la parabole de KOZENY ;
- k_r : la perméabilité du remblai.

Stabilité des pentes

La stabilité d'un barrage en terre est celle de la stabilité de son talus amont et de son talus aval sur sa fondation (**M L. Compaoré, 1996**). L'étude de stabilité sera conduite par le cercle de glissement de BISHOP. Nous avons utilisé le logiciel Geoslope afin de vérifier la stabilité des pentes.

IV.2.6.2. Etude de l'évacuateur de crue et ouvrages annexes

Le dimensionnement de l'évacuateur de crues va consister à :

- ✓ déterminer la longueur du seuil déversant pour une charge maximale donnée ;
- ✓ dimensionner le chenal ;

- ✓ déterminer les caractéristiques du bassin de dissipation en fonction des conditions hydrauliques ;
- ✓ dimensionner les bajoyers et faire l'étude de stabilité des différents ouvrages.

Etude du déversoir

Au regard de l'aménagement en aval, le déversoir du barrage sera reconstruit en position centrale en rive gauche comme initialement. Il sera de type déversoir poids à profil trapézoïdal en béton cyclopéen dosé à **300 kg/m³**.

Longueur du seuil déversant

La longueur du seuil a été déterminée par le laminage. Il existe plusieurs méthodes pour calculer l'effet du laminage. Nous utiliserons la méthode du coefficient « X0 » et celle de l'équation de continuité pour le laminage.

Effet de Laminage

Le laminage de crue consiste à optimiser la longueur déversant du déversoir sans augmenter le risque de submersion du barrage. Tenir compte de l'effet de laminage permet de réduire la longueur du déversoir sans augmenter le risque de submersion du barrage. Deux méthodes ont été utilisées pour le calcul de l'effet de laminage. Il s'agit :

Equation de continuité : Abaques

On se fixe la charge au-dessus du déversoir et on calcule les termes suivants :

$\frac{A \times Z_e}{Q_c \times T_m} \text{ et } \frac{Z_e}{a}$	T_m : Temps de montée en seconde ; A : Surface du plan d'eau à la cote de déversement en m² ; a : Hauteur au-dessus du seuil tel qu'à cette hauteur la surface du plan d'eau passe à 2 A en m ; Q_c : Crue de projet en m³/s ; Z_e : Charge fixée au-dessus du déversoir en m.
---	--

A l'aide d'un abaque, on lit le rapport $\frac{Q_e}{Q_c}$

Méthode EIER-CIEH ou méthode du Coefficient « X0 »

C'est une méthode itérative de détermination de la longueur d'un déversoir en fonctionnement dénoyé.

$Q_c = m \times L \times \sqrt{2 \times g} \times h^{\frac{3}{2}}$ $L_n = \frac{\beta_n \times Q_c}{m \times \sqrt{2 \times g} \times h^{\frac{3}{2}}}$ $X_{0,n} = \frac{m^2 \times g \times L_n^2 \times \beta_n \times Q_c \times T_m^3}{S^3}$ Et après on calcule $\log_{10}(X_{0,n})$	m : Coefficient de débit pris égal à 0,492 pour un déversoir de profil de type craeger ; T_m : Temps de montée en second ; Q_c : Crue de projet en m³/s ; Q_e : Débit à évacuer en m³/s ; h : Charge fixée au-dessus du déversoir en m ;
---	--

$\beta_n = \frac{Q_e}{Q_c}$; Lu sur un abaque en fonction de $\log_{10}(X_{0,n})$;	S : Surface du plan d'eau à la cote de déversement en m^2 ; g : Accélération de la pesanteur pris égal à $9,81 \text{ m/s}^2$.
--	--

Etude de stabilité du déversoir

Stabilité externe	
Stabilité au non glissement	W : Poids propre du déversoir = $\gamma_b \times S \times 1 \text{ m}$; γ_b : Poids volumique du béton pris égal à 24 kN/m^3 ; S : Section du déversoir ;
$F_G = \frac{(W - U) \times \tan(\phi)}{P_e + P_t} \geq 1,2$	U : Sous-pression = $\frac{1}{2} \times \gamma_w \times b_2 \times (2 \times h + H)$ Avec $b_2 = 1 + H_r \times \tan(\alpha)$; γ_w : Poids volumique de l'eau pris égal à 10 kN/m^3 ; H : Hauteur maximale du déversoir h : charge au-dessus du déversoir ;
Stabilité au non renversement	
$F_R = \frac{\sum M_B(W - U)}{\sum M_B(P_e + P_t)} \geq 1,5$	P_t : Poussée des terres = $\frac{1}{2} \times \gamma_{\text{séd.}} \times h_{\text{séd.}}^2 \times K_a$ avec $K_a = 1/3$ P_e : Poussée hydrostatique externe en amont du déversoir = $\frac{1}{2} \times \gamma_w \times H^2 + \gamma_w \times H \times h$
Stabilité interne	
Vérification de la non fissuration	
$\sigma_{\min} \geq 0$ Ce qui implique que $ e \leq \frac{b_2}{6}$	
Vérification de la non rupture	
$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{lim, béton}}$	

Pour ce qui est de la stabilité au poinçonnement, il a consisté à vérifier que la contrainte de référence est inférieure à la contrainte admissible du sol.

Mur bajoyer

Les murs bajoyers sont placés de part et d'autre du déversoir et assurent la jonction entre la digue et ce dernier. Ils ont pour rôle de limiter latéralement les écoulements sur le parement du barrage. Pour son pré-dimensionnement, ils seront assimilés à un mur de soutènement en béton armé et la structure est étudiée sur une tranche linéaire d'un mètre de longueur. A partir de ces résultats, une vérification de la stabilité faite avec le logiciel CYPE 2016 a permis d'obtenir les dimensions finales du mur.

Bassin de dissipation

Le dissipateur d'énergie a pour rôle de dissiper l'énergie de l'eau de déversement et d'éviter les

affouillements dangereux à l'aval du barrage. Les formules suivantes sont utilisées afin de calculer les caractéristiques du bassin de dissipation :

Formule de Manning-Strickler : $Q_e = K_s \times \sqrt{I} \times \frac{S^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}}$	$S = L \times y_n$: Section mouillée du chenal d'évacuation ; $P = L + 2 \times y_n$: Périmètre mouillé ; Q_e : débit à évacuer après laminage ; y_n : Tirant d'eau normal (Profondeur normale) en m ; I : Pente longitudinale du chenal d'évacuation ; m : Fruit de berges égal à 1 (section rectangulaire) ; L : Largeur au plafond du chenal d'évacuation ; K_s : Coefficient de rugosité de Manning Strickler ; g : Accélération de la pesanteur prise égale à 10 m/s ² ; Y_c : le tirant d'eau critique ;
Méthode de la débitance : $\frac{Q_e}{\sqrt{I}} = K_s \cdot \sqrt[3]{\frac{S^5}{P^2}}$ Cette méthode permet de déterminer le tirant d'eau normal y_n dans le chenal d'évacuation.	H : Somme de la hauteur du déversoir et de l'enfoncement du bassin de dissipation ; h : Charge fixée au-dessus du déversoir en m ; V_0 : Vitesse de l'eau sur le seuil du déversoir en m/s ; y_1 : Le tirant d'eau avant le ressaut en m ; q : Débit unitaire en m ³ /s.ml ; V : Vitesse d'entrée dans le bassin de dissipation en m/s.
Formule de calcul du tirant d'eau critique : $y_c = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \left(\frac{Q_e}{L} \right)^2}$	
Formule de BERNOULLI : $V = \sqrt{2g \times \left(0.9 \left(H + h + \frac{V_0^2}{2g} \right) - y_1 \right)}$ Et $V = \frac{q}{y_1}$	
Formule de Froude : $F = \frac{V}{\sqrt{g \times y_1}}$	

Ouvrages de prise et de vidange

Deux ouvrages de prise seront placés en rive gauche et droite pour le prélèvement d'eau pour l'irrigation de l'aménagement en aval par gravité. Ces ouvrages permettront l'irrigation des cultures de riz pluvial en cas de poches de sécheresse et le maraichage en contre saison. Le potentiel aménageable en aval du barrage vaut 250 ha. Pour répondre à un éventuel besoin d'irrigation de complément du riz pluvial, les conduites sont dimensionnées sur la base des besoins de pointes calculés sur les 250 ha. Comme hypothèse de calcul, nous avons retenu :

- ✓ un temps de travail (T_w) de 6 heures au maximum par jour ;
- ✓ six (06) jours de travail (N_w) par semaine ;
- ✓ la côte de sortie est identique à celle à l'entrée de la prise

Le débit fictif a été calculé suivant la formule ci-dessous :

$Q_c = \frac{BB \text{ (m}^3/\text{ha)}}{Nw \times Tw \times N \times 3,6}$	avec	Q : le débit fictif [l/s] ; BB : les besoins bruts mensuels [m] ; N : le nombre de jour du mois.
---	------	---

Le diamètre des conduites se déduit de la formule de Torricelli.

$Q = CS^2\sqrt{2gh}$		Q : le débit fictif [l/s] ;
$S = \frac{\pi \times D^2}{4}$	Avec	C : coefficient de contraction ;
h = côte PEN – côte à la sortie		h : la charge de l'eau [m] ;
		S : la section de la conduite [m] ;
		g : l'accélération de la pesanteur [m/s] ;
		D : le diamètre de la conduite [m].

V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

V.1. Etude diagnostic

V.1.1. Historique du barrage de Péelé

La recherche documentaire a permis d'obtenir des informations sur l'historique et d'éventuelles études concernant le barrage de Péelé. Celui-ci, a été construit en 1982 par le Monastère de Koubri dans le but de couvrir les besoins en eau des populations des villages environnants et permettre l'exploitation agricole des terres en aval.

Suite à de fortes dégradations du barrage, le Ministère en charge de l'Eau a entrepris la reconstruction du barrage en 2014, par la réalisation d'une nouvelle digue en amont de l'ancienne. Ces travaux de reconstruction ont été conduit sous la maitrise d'ouvrage délégué de l'Agence Générale d'Exécution des Travaux Eau et Equipement Rural (AGETEER). Les travaux de reconstruction ont pris fin avec la mise en eau du barrage en juin 2016. La rupture de la digue est intervenue le 27 juillet 2018 soit en seulement deux ans après la mise en eau du barrage.

Le barrage de Péelé était une source à usages multiples (agricole, cheptel, pêche et bien d'autres). Mais depuis sa rupture, l'ensemble des activités est à l'arrêt et les populations ne cessent de demander le secours des autorités pour la relance de leurs activités socio-économiques.

V.1.2. Caractéristiques initiales du barrage

La capacité du barrage après sa reconstruction en 2016 était de 7 000 000 m³ pour une superficie de plan d'eau normale (PEN) de 398 ha environ. Le barrage est constitué d'une digue en terre homogène compacté, d'un évacuateur de crue en position centrale et deux prises d'eau. Le barrage a été conçu sur la base d'une crue de projet de 300 m³ /s (Crue centennale) et les apports liquides du bassin étaient évalués à 29 280 720 m³/an en moyenne. Le tableau 5 ci-dessous récapitule quelques caractéristiques du barrage de Péelé à l'issus de sa reconstruction (rapport d'expertise).

Tableau 5 : Caractéristiques initiales du barrage

Parties	Caractéristiques
Digue	✓ Large en crête : 3,5 m ; ✓ Protection de la crête : couche de couronnement latéritique de 20 cm ; ✓ Longueur de la digue (déversoir non compris) : 1330 m ; ✓ Hauteur maximale : 6 m ; ✓ Protection des talus : perré sec ; ✓ La revanche libre est de 0,5 m ; ✓ Mur parapet 0,4 m*0,5 m ; ✓ Les pentes de talus amont et aval sont identique (1V/2,5H).
Déversoir	✓ Seuil en position centrale ; ✓ La hauteur d'eau au-dessus du seuil est de 1 m ; ✓ La longueur du déversoir est d'environ 185 m.
Prise	✓ Deux conduites en rive gauche et rive droite Ø400 et Ø300 chacune de longueur 31 m

V.1.3. Etat des lieux du barrage

Le barrage de Péelé, l'un des plus grands barrages que comptait ladite commune, est dans une dégradation très avancée. La digue du barrage présente en rive gauche, deux grandes brèches qui vident la cuvette du barrage. Les deux ouvrages de prise existants sont moyennement en bon état mais non fonctionnel du fait de l'absence d'eau dans la cuvette. Le déversoir ainsi que ses ouvrages annexes sont stables mais présentent quelques anomalies. La visite de terrain a permis de constater quelques anomalies sur l'ouvrage. Les anomalies sont consignées dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Anomalies sur le barrage de Péélé

Ouvrages	Dégradations sur les ouvrages	Photos illustratives
Digue	✓ des talus de la digue envahis par une végétation composée d'arbres et d'arbustes ; ✓ des fissures longitudinales dont la longueur varie de 1 à 10 m environs; ✓ deux brèches dont une première mesure de 48 m environ au voisinage immédiat du déversoir et une seconde brèche de 29 m. Elles sont toutes en rive gauche du déversoir; ✓ présence de renards dont un a traversé la digue à mi-hauteur pour se développer en amont ; ✓ désorganisation importantes du perré du talus aval dans les zones des amorces de renards en rive gauche; ✓ diguette de protection complètement détruite par les eaux suite à la rupture de la digue du barrages.	 Petite brèche en rive gauche
		 Tentative de stockage de l'eau par la population sur la grande brèche
		 Prolifération des arbres sur la digue

Déversoir	Lors de la visite terrain, nous avons constaté que l'ensemble des ouvrages (déversoir et ouvrages associés) est moyennement en bon état mais on note que : ✓ signes de points de faiblesse sur le parement du seuil matérialisés par des faïences ; ✓ blocs de chutes et de chicanes emportés ; ✓ tapis d'enrochement en tête du chenal désorganisé/emporté ; ✓ Diguette en rive gauche emportée par les eaux suite à la rupture ; ✓ Diguette en rive droite dégradée par des eaux de ruissellement venues de l'aval de la digue ; ✓ dépose des moellons par des individus suite à la rupture du barrage (vandalisme).	 Dégradation du coursier et blocs de chicanes emportées
Ouvrages de prise	L'ensemble des éléments des prises sont moyennement en bon état mais on note que les grilles de fermetures sont rouillées.	

V.1.4. Causes et conséquences des dégradations

La principale dégradation a été la rupture d'une partie de la digue en rive gauche. Nous avons essayé de comprendre la cause de cette rupture en effectuant une visite terrain ponctuée d'échanges avec les autorités locales et en exploitant le rapport d'expertise commandité par l'AGETEER. Ces échanges et les conclusions du rapport laissent entrevoir que la rupture du barrage, a été aussi le fait de facteurs cumulatifs antérieurs de succession de quatre jours de pluies consécutives, ayant favorisé la déstabilisation de l'ouvrage. Les pathologies constatées sur le barrage peuvent être considérées comme une conséquence directe des défauts de conception dans les études initiales de réalisation de l'ouvrage et la mauvaise exécution des travaux. Sans être exhaustif, les principales causes probables et conséquences des dégradations constatées sur l'ouvrage se présentent comme suit (Tableau 7)

Tableau 7: Causes probables des dégradations du barrage de Péelé

Dégradations	Causes	Conséquences
✓ Fissures longitudinales et transversales sur la digue ✓ Brèches sur la digue ✓ Désorganisation du perré des talus	✓ L'insuffisance de compactage de certaines couches ; ✓ Qualité des matériaux non conforme, ✓ Non maîtrise de la teneur en eau ; ✓ Epaisseur des couches compactées parfois trop grande par rapport au prescription technique ; ✓ Variabilité des caractéristiques des matériaux utilisés ; ✓ Insuffisance des études techniques.	✓ Érosion interne ✓ Développement de renard ; ✓ Infiltrations des eaux dans la digue ✓ Rupture de la digue
Détérioration du coursier et des blocs chicanes.	✓ Résistance du béton insuffisante dans certains plots du déversoir ; ✓ Défaut d'encrage des bloc chicanes dans le bassin de dissipation.	✓ Ruine précoce de l'ouvrage

Source : Données terrains à la lumière du rapport d'expertise

V.1.5. Justification de l'option de reconstruction du barrage

Au regard de l'importance des dégradations du barrage mais aussi des conclusions du rapport d'expertise mettant en doute la qualité des matériaux mais aussi des travaux en 2016, le cabinet en charge des études de réhabilitation du barrage de Péelé et le maître d'ouvrage ont convenu de procéder à une étude de reconstruction de l'ouvrage. A cet effet, un nouvel axe a été retenu à environ 100 m en aval de l'ancienne digue et offre la possibilité de mobiliser plus d'eau par rapport à l'axe initiale.

V.2. Synthèse des études de base

V.2.1. Etudes socio-économiques

La présente étude socioéconomique aura permis d'établir le statut des terres visées pour le futur barrage de Péelé. Les propriétaires terriens, les chefs de terre et de villages ainsi que l'ensemble des populations des villages adhèrent au projet et consentent à sa mise en œuvre. Selon le RGPH 2019, la commune de Koubri compte 13 067 ménages avec une population de 60 802 habitants dont 30 235 hommes et 30 567 femmes.

Quant à Péelé, les données n'étant pas encore disponibilisées par l'Institut Nationale des Statistiques et de la Démographie (INSD), les projections sont faites à partir des données RGPH 2006 et comptait 2 411 habitants en 2006. Selon les projections de la population de Péelé en 2020 serait de 3 424 habitants. Il faut noter que le village de Péelé est majoritairement peuplé de mossi avec une minorité de peuhls, bisssa et de gourounsi.

L'agriculture constitue l'activité économique dominante mais demeure extensive et caractérisée par l'exploitation familiale. Les principales spéculations sont : mil, maïs, sorgho, riz, arachide, niébé, sésame, patate, etc. L'élevage constitue la deuxième activité économique après l'agriculture et est pratiqué par tous les groupes socio-économiques, car tous les ménages sont agro-pasteurs.

Les investigations ont identifié sur le site la présence de parcelles de culture qui seront englouties par la construction du barrage (23 personnes affectées qui ont été identifiés propriétaires de périmètres maraichers estimés à 17,75 ha), quelques arbres dans les cinq (5) zones d'emprunt et une perte prévisible de zone de pâturage et d'abreuvement ouvert.

En termes d'infrastructures communautaires, le village de Péelé dispose d'un CSPA avec un dépôt pharmaceutique, d'une école primaire de six (06) classes, d'un collège d'enseignement général, de seize (16) forages fonctionnels ; de six (06) puits à grand diamètre, d'un marché, de cinq (05) bois sacrés.

On a noté une très bonne perception et pleine adhésion de l'ensemble des acteurs (population, responsables coutumiers et religieux) au projet de reconstruction du barrage.

V.2.2. Etudes topographiques

Le traitement du fond topographique mis à notre disposition par le bureau BERA, a permis d'obtenir les courbes hauteur-surface et hauteur-volume de la cuvette du barrage (respectivement **figure 4 et 5**) entre les côtes 257 m et 265 m. Les données des dites courbes sont en Annexe II.

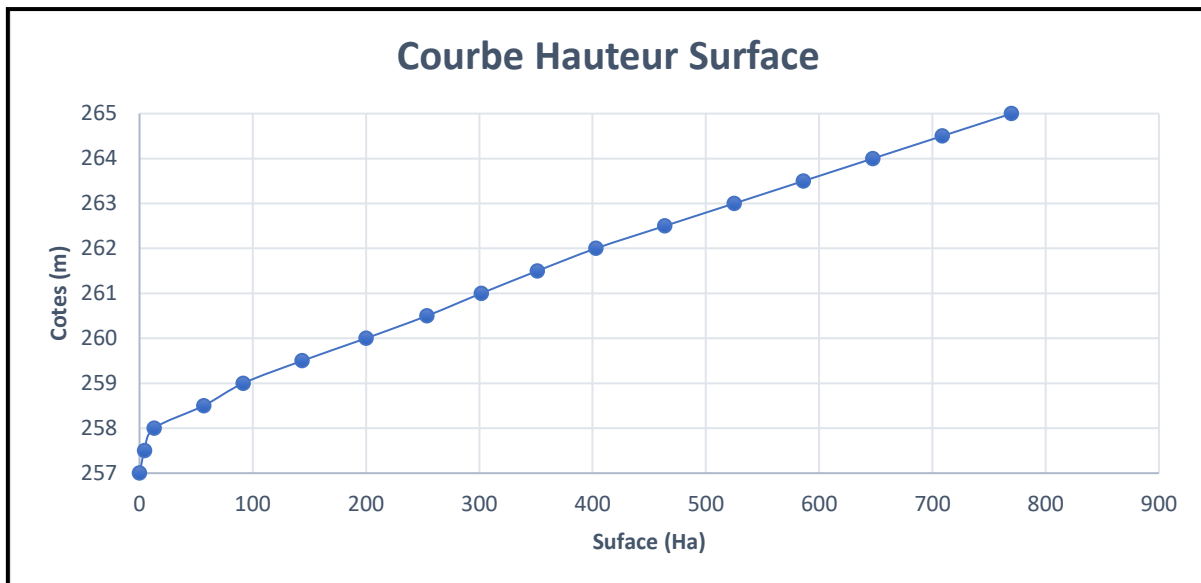


Figure 4: Courbe Hauteur - Surface

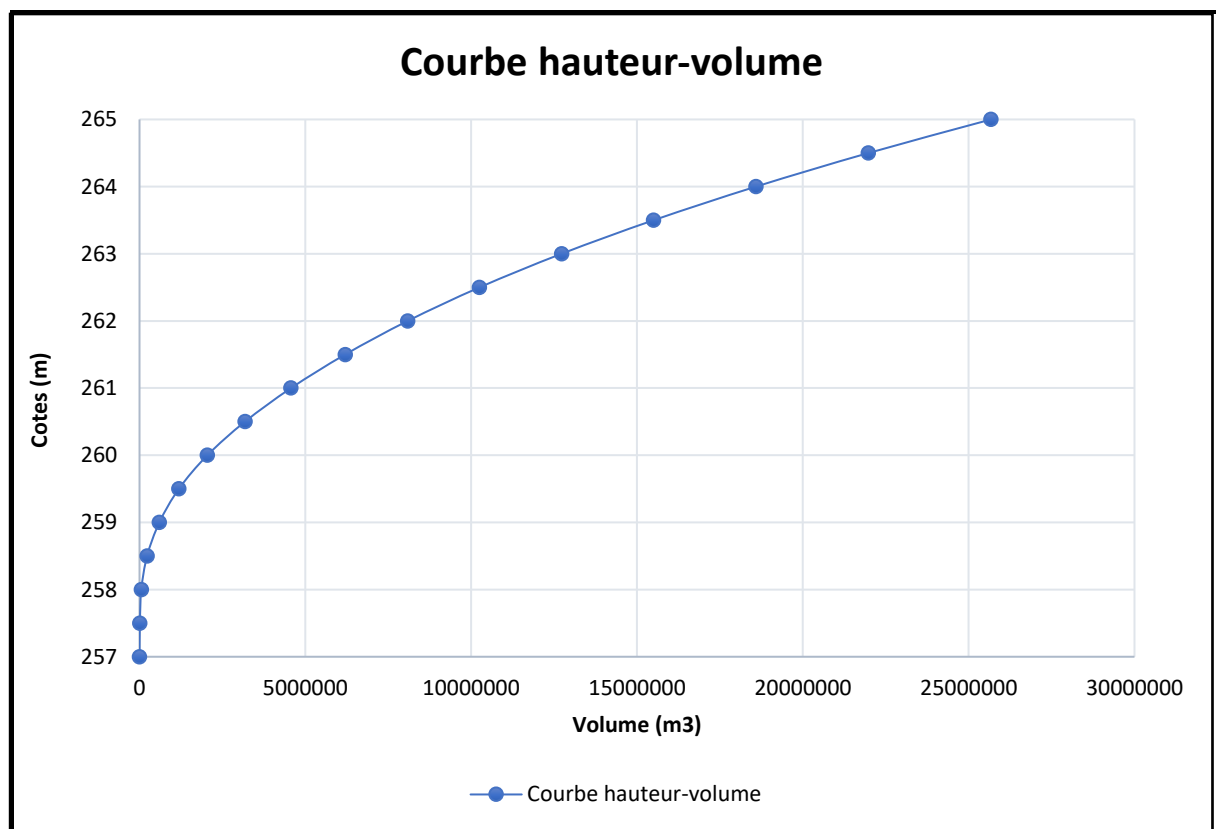


Figure 5: Courbe Hauteur-Volume

L'exploitation de la courbe hauteur-volume a permis de tracer la courbe d'exploitation de la retenue après avoir évalué les besoins en eau et les différentes pertes sur la retenue et le calage du PEN.

V.2.3. Etudes géophysiques

Les investigations géophysiques ont été réalisées sur l'axe du barrage. Elles ont consisté en un profil de sismique réfraction doublée d'un profil électromagnétique. Douze (12) déploiements ont été réalisés pour une longueur totale de 1 400 m environ. Trois (03) profils électromagnétiques en continue ont été effectués le long de l'axe avec un pas de mesure de 5 m. Par ailleurs, quelques sondages ont également été réalisés afin d'observer le sous-sol immédiat le long et autour de l'axe du barrage.

L'analyse de ces résultats corrélée aux observations des sondages manuels et au contexte géologique de la zone permet d'observer l'étendue des couches et d'établir la lithologie probable suivante du sous-sol immédiat, le long de l'axe du barrage :

- Couche 1 : couche de moins de 1 m d'épaisseur, formée de terre végétale + gravier latéritique (parfois cuirasse latéritique) argileux avec parfois du sable et est plus marquée en rive droite ;
- Couche 2 : couche formée d'argiles compactes avec du gravier et parfois du quartz. De faible épaisseur en rive gauche, elle atteint parfois 5 m en rive droite ;
- Couche 3 : couche constituée d'argiles compactes avec parfois un mélange de sable fin humide autour du lit mineur + probablement une formation schisteuse altérée ; son épaisseur atteint plus de 10 m en rive gauche ;
- Couche 4 : couche composée probablement de formations schisteuses altérées parfois saturées ;
- Couche 5 : Couche profonde constituée probablement de formations schisteuses plus ou moins fissurée.

L'ensemble des terrains observés s'étend de manière presque continue le long de l'axe du barrage. Par contre, la première couche (couche 1) est plus marquée en rive droite qu'en rive gauche où elle est presque absente. Les sondages montrent que les argiles contiennent un peu de sable fin autour du lit mineur. La présence d'une forte humidité ou de l'eau à partir de 2 m de profondeur a été également constatée à ce niveau. Les résultats de l'électromagnétisme VLF montrent la présence des zones conductrices plus ou moins étendues sur l'axe de la digue. Ces zones sont plus prononcées en rive gauche. Les estimations indiquent que ces zones conductrices sont situées au-delà d'une profondeur moyenne de 30 m.

V.2.4. Etudes géotechniques

L'étude géotechnique a permis entre autres de :

- ✓ caractériser le sol de la fondation le long de l'axe du barrage. Pour cela, six (6) sondages manuels de 5 m et deux (2) sondages à la tarière de 5,50 m à 7,10m ont été réalisées. L'ensembles de ces sondages sont restés dans des sols argileux. Ainsi, nous pouvons envisager les fondations du barrage sur les argiles ;
- ✓ et d'effectuer les prospections d'emprunts et de carrières qui ont permis de trouver :
 - une zone d'emprunt d'argile à 1,4 km du site du barrage qui présente des caractéristiques géotechniques satisfaisantes, pour être utilisé pour la tranchée d'ancrage, dans la construction du noyau argileux de la digue : le potentiel a été estimé à **80 062 m³** ;
 - les zones d'emprunt de graveleux latérique. A cet effet, deux zones d'emprunts ont été identifiés à 500 m du site également aptes à être utilisés tant au niveau des recharges/protections en latérites, qu'aux filtres. Le volume prospecté est estimé à **10 372 m³** extensible ;
 - en ce qui concerne les matériaux de construction : (i) le sable peut être approvisionné à partir du village de Pikioko à 15 km du site avec un équivalent de sable (ES = 70%), (ii) le gravier quartz se trouve dans le village de Péelé à 1 km du site et (iii) les moellons latéritiques se situent à 5 km du site.

V.2.5. Etudes pluviométriques

Le site d'étude est à cinquante-huit (58) kilomètres de Ouagadougou où il existe une station climatologique. Les données se caractérisent comme suit (tableau 8).

Tableau 8: Description des pluies annuelles et maximales journalières

Echantillon	Pluies annuelles	Pluies maximales journalières
Période d'observation	1952 à 2020	1952 à 2019
Taille [an]	69	68
Valeur minimale [mm]	518,00	36,00
Valeur maximale [mm]	1183,00	261,00
Valeur moyenne [mm]	798,88	68,85
Ecart-Type [mm]	148,66	30,43
Valeur médiane [mm]	773,00	61,50
Coefficient de variation (Cv)	0,186	0,442

V.2.5.1. Répartition de la pluviométrie annuelle

La répartition des pluies annuelles est présentée dans la figure 6. Une analyse est faite dans la partie discussion.

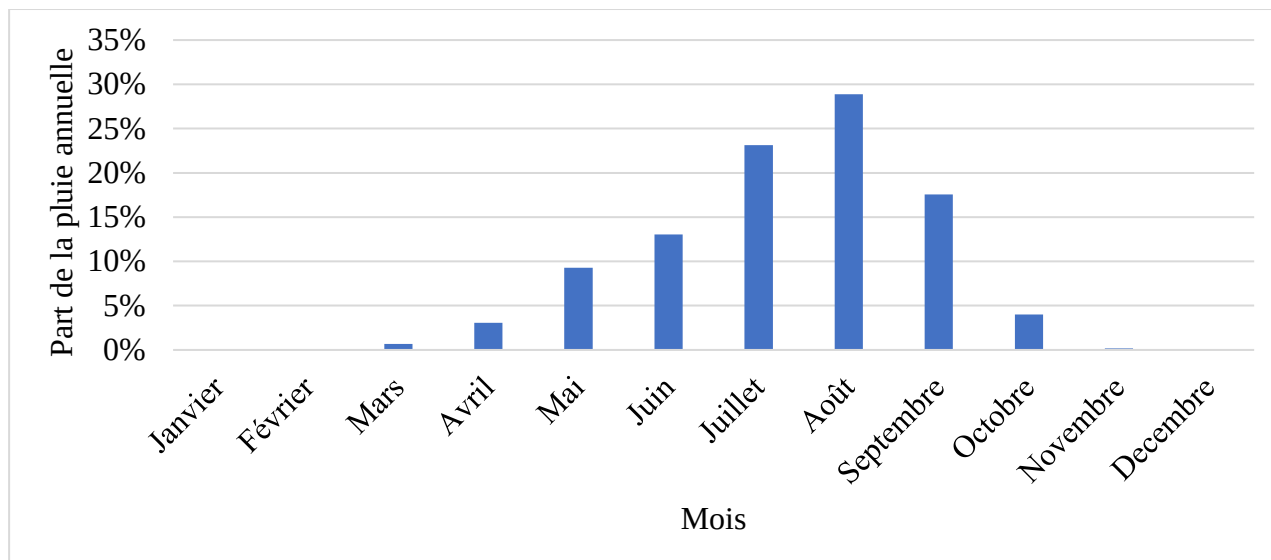


Figure 6: Répartition de la pluviométrie annuelle

V.2.5.2. Analyse statistique des précipitations

De l'histogramme des indices de pluies (**Figure 7**), trois principales périodes se distinguent le long de la série :

- 1952 à 1976 : période humide caractérisée par des IPS positives ;
- 1977 à 2008 : Période sèche (IPS<0), caractéristique de la sécheresse des années 70,
- 2008 à 2020 : Période marquée par une alternance d'années humides et sèches.

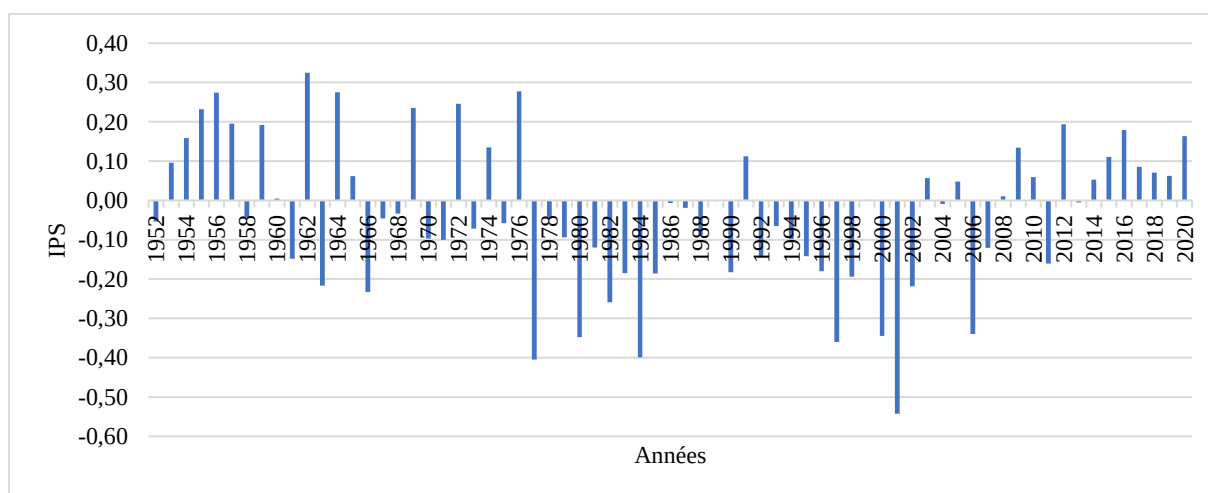


Figure 7 : Histogramme des Indices des Pluies Standardisées (IPS)

A la suite de la statistique descriptive, l'analyse statistique des deux séries (pluies annuelles et pluies maximales journalières) à l'aide du logiciel HYFRAN ont permis de déterminer les quantiles pour différentes périodes de retour (Tableau 9). Les données et les détails des résultats du traitement sont en **Annexe I**.

Tableau 9 : Synthèse de l'analyse pluviométrique

Désignation	Période humides			Médiane	Période sèche		
	5	10	100		5	10	100
Temps de retour (an)	5	10	100	2	5	10	100
Pluies annuelles (mm)	923,98	989,43	1 144,79	798,88	673,79	608,34	452,97
Pluies journalières (mm)	83,20	95,72	134,93	64,28	50,23	44,25	32,69

De l'analyse du (**Tableau 8**), on note que la pluie moyenne annuelle qui sera utilisée dans le calcul des crues et apports est de 798,88 mm. Cette valeur est dans le même ordre de grandeur que celle qui a été utilisée lors des études de réalisation du barrage en 2016 et celui utilisé par le bureau d'étude BERA qui sont respectivement de 721 mm et 780 mm toutes à partir de données issues de la station de Ouagadougou. On retient également une relative faible variabilité pour les cumules annuels par rapport aux pluies maximales journalières marquées respectivement par des coefficients de variation de 18,61% et de 44,19%.

Aussi, l'analyse de la série de pluies annuelles montre que près de quatre-vingt-douze pour cent (92%) des précipitations annuelles sont observées entre les mois de mai et septembre (**Figure 6 : Répartition de la pluviométrie annuelle**) correspondant à la saison des pluies. Selon les résultats des recherches sur la caractérisation des variabilités climatiques au Burkina Faso et dans le bassin du nakambe en particulier les mois pluvieux (juin, juillet, août et septembre) connaissent à l'exception du mois de juillet, une baisse de leur hauteur d'eau surtout dans la zone d'influence de Ouagadougou, or les activités agricoles en dépendent. La pluviométrie annuelle connaîtra ainsi des baisses de 3,4 % et 7,3 % respectivement en 2025 et 2050 (Alida Nadège THIOMBIANO, 2011). Ce qui pourra occasionner de mauvaises récoltes, des manques d'eau pour le cheptel et d'autres besoins domestiques. D'où la nécessité de reconstruire le barrage afin de promouvoir les cultures de contre saison, disponibiliser l'eau pour le cheptel et réduire le chômage.

V.2.6. Etudes hydrologiques

L'étude hydrologique nous a permis de caractériser le bassin versant du barrage d'une part et de déterminer la crue de projet d'autre part.

V.2.6.1. Caractérisation du bassin versant

Le bassin versant du barrage s'étend dans les provinces du Kadiogo et de Bazèga. La figure 8 illustre cet état de fait.

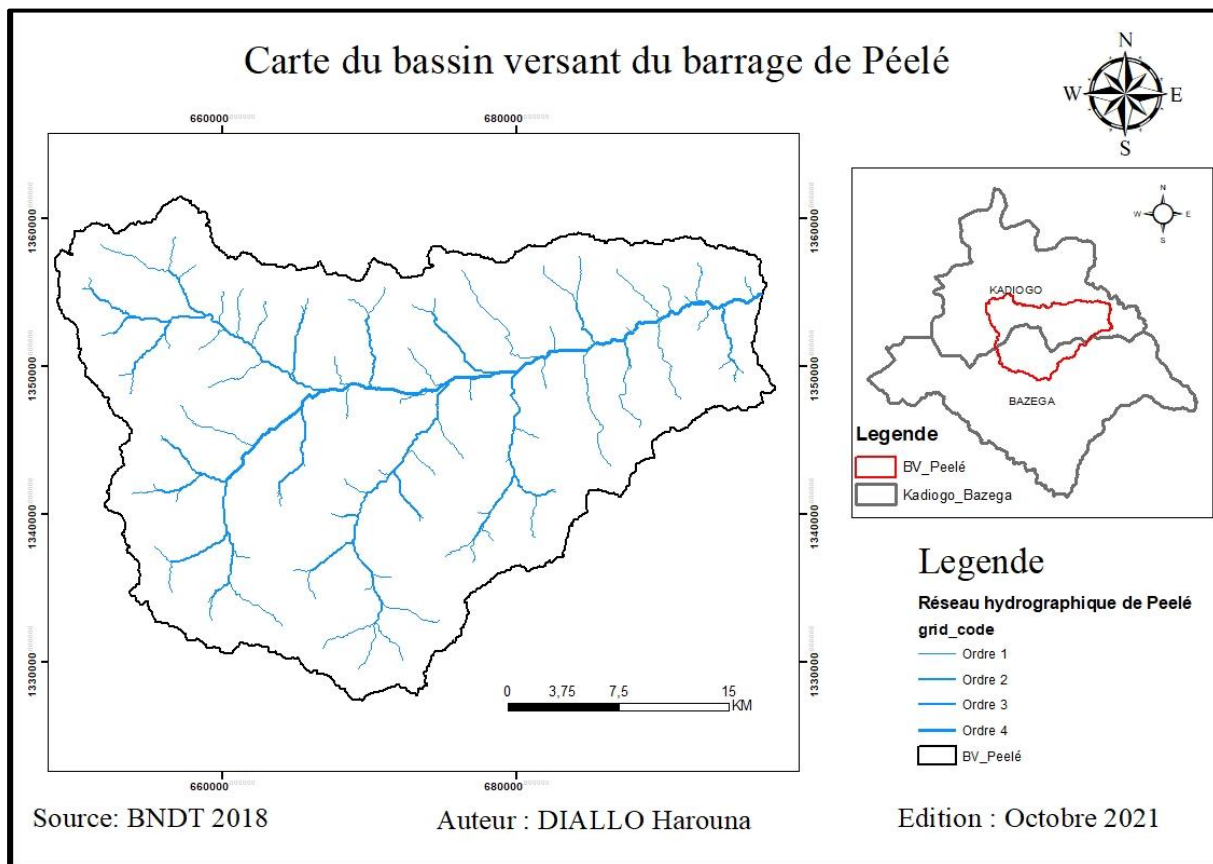


Figure 8 : Carte du bassin versant du barrage de Péelé

Hypsométrie du bassin versant du barrage de Péelé

Le relief du bassin est de type fort. La plus haute altitude enregistrée dans le bassin versant est de 370 m tandis que la plus basse est de 259 m. Les autres altitudes caractéristiques sont déterminées à partir de la courbe hypsométrique qui illustre la répartition de la surface du bassin versant en fonction des altitudes (**Figure 9**).

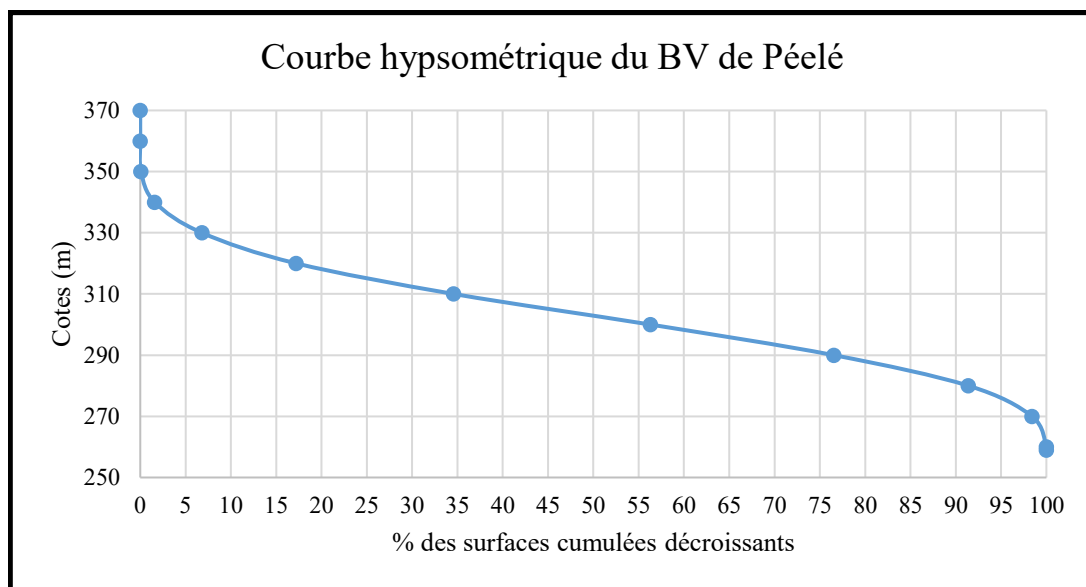


Figure 9 : Courbe hypsométrique de BV de Péelé

Les caractéristiques du bassin versant de Péelé sont consignées dans le tableau 10 ci-dessous :

Tableau 10: Caractéristiques du bassin versant du barrage de Péelé

Caractéristiques du bassin versant	Valeurs calculées	Observations
Surface S (km ²)	1014,15	Grand bassin versant
Périmètre P (km)	172,11	-
Altitude maximale (m)	370	-
Altitude minimale (m)	259	-
Indice de Compacité K _G	1,51 > 1	Bassin versant de forme allongée
Longueur du rectangle équivalent L (km)	71,96	-
Largeur du rectangle équivalent l (km)	14,09	-
Pente moyenne I _{moy} (m/km)	3,49	-
Altitude à 95% (m)	275,11	-
Altitude à 5% (m)	333,56	-
Indice global des pentes (m/km)	0,81	Bassin versant de pentes fortes
Indice global des pentes corrigé (m/km)	4,15	-
Longueur totale des cours d'eau (km)	378,27	-
Densité de drainage D _d (km/km ²)	0,37	-
Dénivelé spécifique D _s (m)	132,07	D _s supérieure à 100 m :

		Relief fort
Typologie du réseau hydrographique	-	Radial
Classification du bassin versant	Taille	Grand bassin versant
	Relief	R1
	Infiltrabilité	RI
	Type	R1RI

V.2.6.2. Prédétermination des crues

Détermination de la crue décennale

La crue décennale est déterminée suivant deux méthodes à savoir la méthode de ORSTOM et la méthode de CIEH. Les paramètres de calcul sont consignés dans le tableau 11

Tableau 11: Paramètres de calcul de la crue décennale

Situation	Afrique de l'Ouest
Surface	1014,15 Km ²
Pluviométrie moyenne annuelle	798,88 mm régime tropical sèche
Pluie journalière décennale (P_{10})	95,72 mm
Pluie journalière centennale (P_{100})	134,93 mm
Indice global des pentes corrigé	4,15 m/km
Indice de compacité	1,51
Coefficient de VUILLAUME A	0,62
Coefficient de ruissellement décennal K_{r10}	18,29%
Coefficient de pointe α_{10}	2,6
Densité de drainage D_d	0,37 km ⁻¹
Temps de base décennal T_{b10}	3629,64 min
Temps de monté décennal T_{m10}	1209,88 min

Les résultats obtenus par les deux méthodes sont renseignés dans le tableau 12 :

Tableau 12: Crues décennale selon les méthodes ORSTOM et CIEH

	Méthode ORSTOM	Méthode CIEH
Débit de crue décennal Q_{10}	143,8 m ³ /s	118,01 m ³ /s

Détermination de la crue centennale

Pour la suite de notre étude, nous retiendrons la valeur maximale donnée par les deux méthodes empiriques cadre avec le contexte de changements climatiques caractérisé par des averses de plus en plus fortes qui génèrent des crues importantes et brusques. Ainsi la valeur de la crue décennale (Q_{10}) adoptée sera la valeur maximale donnée par les méthodes ORSTOM et CIEH et est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13 : Choix de la crue décennale

	Méthode ORSTOM	Méthode CIEH	Crue adoptée
Q_{10} (m ³ /s)	143,81	118,01	143,81

Après le calcul des crues décennales par les méthodes ORSTOM et CIEH, la crue centennale est déterminée en multipliant ces crues décennales par un coefficient C obtenu la méthode dite de GRADEX.

$$Q_{100} = C \times Q_{10} \rightarrow Q_{100} = 3,5 \times 143,81$$

$$Q_{100} = 503,34 \text{ m}^3/\text{s} \text{ soit } Q_{100} = 505 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hydrogramme de crue de projet

Pour l'hydrogramme de crue schématique nous avons opté pour celui pointu (figure 10).

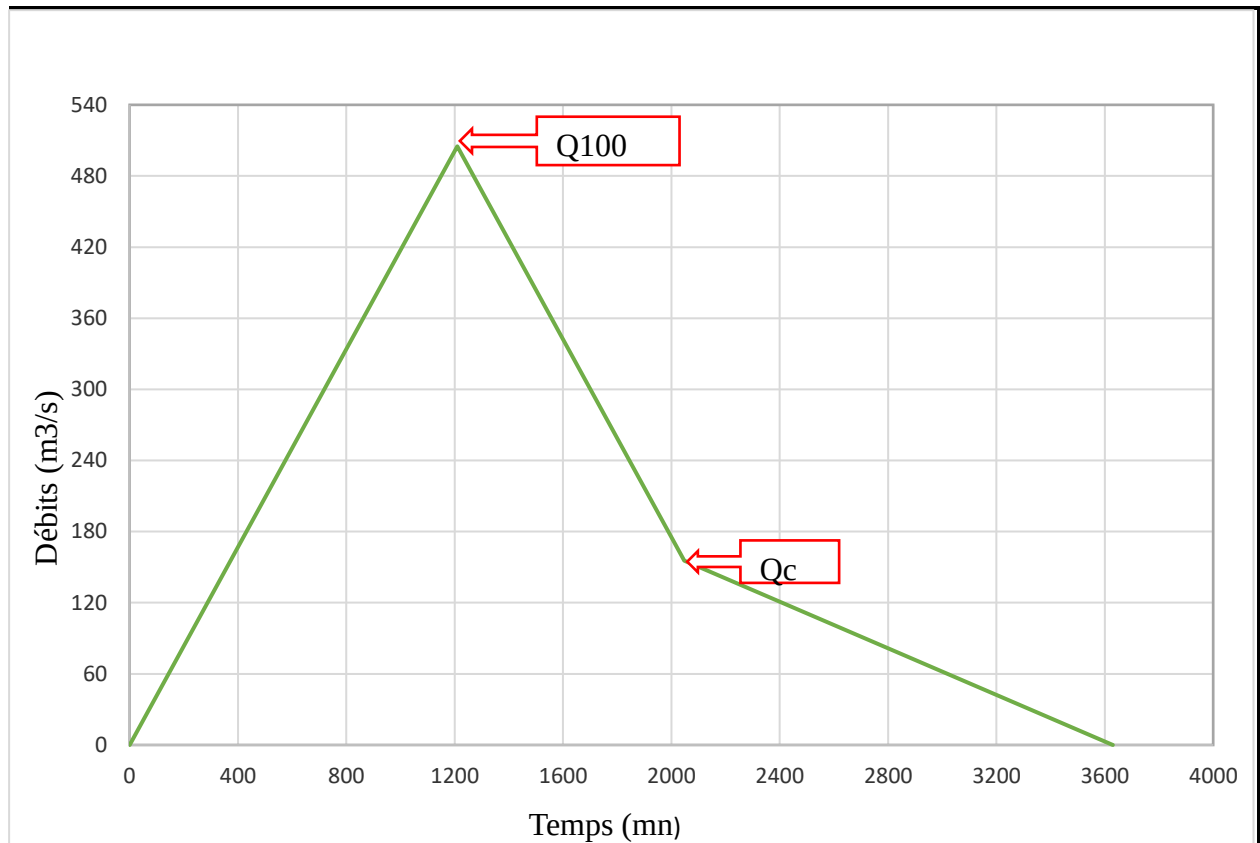


Figure 10: Hydrogramme de crue schématique

A l'issue de l'étude hydrologique, quelques valeurs caractéristiques ont été comparées aux résultats du cabinet (BERA) chargé des études (Tableau 14).

Tableau 14 : Comparaison de quelques résultats

Désignation	Nos résultats	Résultats de BERA
Superficie du Bassin versant (km ²)	1014,15	1028,24
Périmètre du Bassin versant (km)	172,11	143,77
Indice global de pente corrigé (m/km)	4,15	3
Dénivelée spécifique (m)	132,07	53,67
Coefficient de ruissèlement décennale Kr_{10} (%)	18,29	18,55
Crue décennale Q_{10} (m ³ /s)	144	186,49
Crue de projet Q_{100} (m ³ /s)	505	560

De l'analyse du tableau 14, il ressort une différence entre les valeurs de cette étude et celle du

consultant :

L'indice global de pente corrigé du consultant est inférieur à celui trouvé dans cette étude à cause de leur choix de la correction par la pente transversale. Dans notre cas, nous avons utilisé la largeur du rectangle équivalent parce que la longueur du rectangle équivalent est très différente de la longueur du thalweg le plus long. Dans ce cas, l'indice de pente global représente très mal la pente du bassin d'où notre choix d'utiliser la largeur du rectangle équivalent.

La crue de projet du consultant est supérieure à la crue de projet de cette étude malgré la faiblesse de l'indice global de pente corrigé. En effet, le consultant estime le débit de projet avec la formule issue de l'APD des aménagements hydro-agricoles de la Sirba et de Sidi Kompenga octobre 1998 par Roche qui utilise les courbes enveloppes surestimant le débit. Ainsi, dans cette étude, cette formule a été écartée pour tenir compte de la réalité dans la zone d'étude et le volet économique.

Les détails de calculs hydrologiques sont joints en Annexe II

Crue de sécurité

Le barrage de Péelé est dimensionné en tenant compte de la crue de sécurité. La crue de sécurité est de l'ordre de **1 785 m³/s**.

Crue de rupture

La crue de rupture est la crue qui, lorsqu'elle arrive, peut entraîner la destruction de la digue. Elle est de l'ordre de **1 957 m³/s**.

Détermination des apports liquides

Les résultats de calcul des apports du bassin versant en période sèche par les méthodes de Coutagne et de Rodier sont résumés dans le Tableau 15.

Tableau 15 : Apports liquides du bassin versant en période sèche

Désignation	Annuelle	Quinquennale sèche	Décennale sèche
Pluviométrie (mm)	798,88	673,79	608,34
Superficie du bassin versant (Km ²)	1014,15	1014,15	1014,15
Méthode de Coutagne			
Coefficient d'écoulement Ke (%)	16,00	12,00	8,00
Apports liquide (m3)	13 317 694	7 862 670	5 070 653
Méthode de RODIER			
Coefficient d'écoulement Ke (%)	3,12	1,94	1,33
Apports liquide (m3)	25 263 082	13 248 408	8 212 869

Les apports liquides de la méthode de Rodier ont été retenus pour la suite de l'étude car elle prend en compte plusieurs paramètres. La méthode de Coutagne intègre seulement la température moyenne du lieu et la pluviométrie locale tandis que la méthode Rodier, en plus des paramètres climatiques, tient compte des caractéristiques morphologiques du bassin. Les ressources en eau mobilisables sur le bassin de Péelé suffisent pour le remplissage de la cuvette dont le volume est estimé à **12 725 521 m³** en année moyenne et quinquennale sèche. Cependant en année décennale sèche, le barrage sera rempli à 64 %. Les détails du calcul sont en **annexe II**.

V.2.6.3. Etude de la cuvette

Evaluation des besoins

Les besoins (Agricole, humaine et pastorale) en eau sont évalués à **5 407 394 m³** (Tableau 16) entre novembre et juin correspondant à la période d'exploitation du barrage sans apports

Tableau 16 : Synthèse des besoins en eau

Besoins	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Oct.	Total
Agricoles (m ³)	769	970	950	887	937	774				5 291
	919	649	880	924	676	268				316
Pastorales (m ³)	962	994	673	897	3 478	2 885	2 981	2 885	994	16 747
Humains (m ³)	10 915	11 279	11 279	10 188	11 279	10 915	11 279	10 915	11 279	99 331
Total (m ³)	781	982	962	899	952	788	14	13	12	5 407
	796	921	832	010	433	069	260	800	273	394

L'estimation des besoins en eau est détaillée en **annexe II**.

Evaluation des pertes

L'estimation des pertes par infiltration et évaporation au niveau de la retenue pendant les mois où l'ouvrage est sollicité par les activités socio-économiques des populations a conduit aux résultats dans le Tableau 17 et les pertes dues aux dépôts solides dans le Tableau 18 ci-dessous :

Tableau 17: Estimation des pertes par évaporation et par infiltration

Récapitulatif des pertes									
Mois	janv.	févr.	mars	avr.	mai	Juin	oct.	nov.	déc.
Evlac(mm)	170,9	102,1	123,6	210,3	214,5	192,4	176,0	171,4	167,3
Infiltration (mm)	62,0	56,0	62,0	60,0	62,0	60,0	62,0	60,0	62,0
Totale perte (mm)	232,9	158,1	185,6	270,3	276,5	252,4	238,0	231,4	229,3

Tableau 18: Evaluation des dépôts solides

Auteurs	D (m3/km2/an)	V(m³/an)
Formule de KARAMBIRI	118	119365
Formule de l'EIER-CIEH	125	126769
Formule de GOTTSCHALK	130	131941
Dégradation spécifique annuelle retenue	128	129346

Les apports solides pour 30 ans représentent environ 30,5 % du volume du barrage et correspondent à une hauteur de sédiments de 1,75 m.

Simulation de l'exploitation et calage du PEN

Pour couvrir les besoins en eau des populations et les pertes au niveau de la cuvette de novembre à juin et en tenant compte des apports liquides du bassin, le plan d'eau normale (PEN) est calé à la côte 263 m. Après simulation de l'exploitation de l'ouvrage, avec l'hypothèse que le dernier remplissage du barrage est observé le 1^{er} octobre, la côte du plan d'eau à la fin de campagne de contre saison (fin mai) est de 261 m (Figure 11).

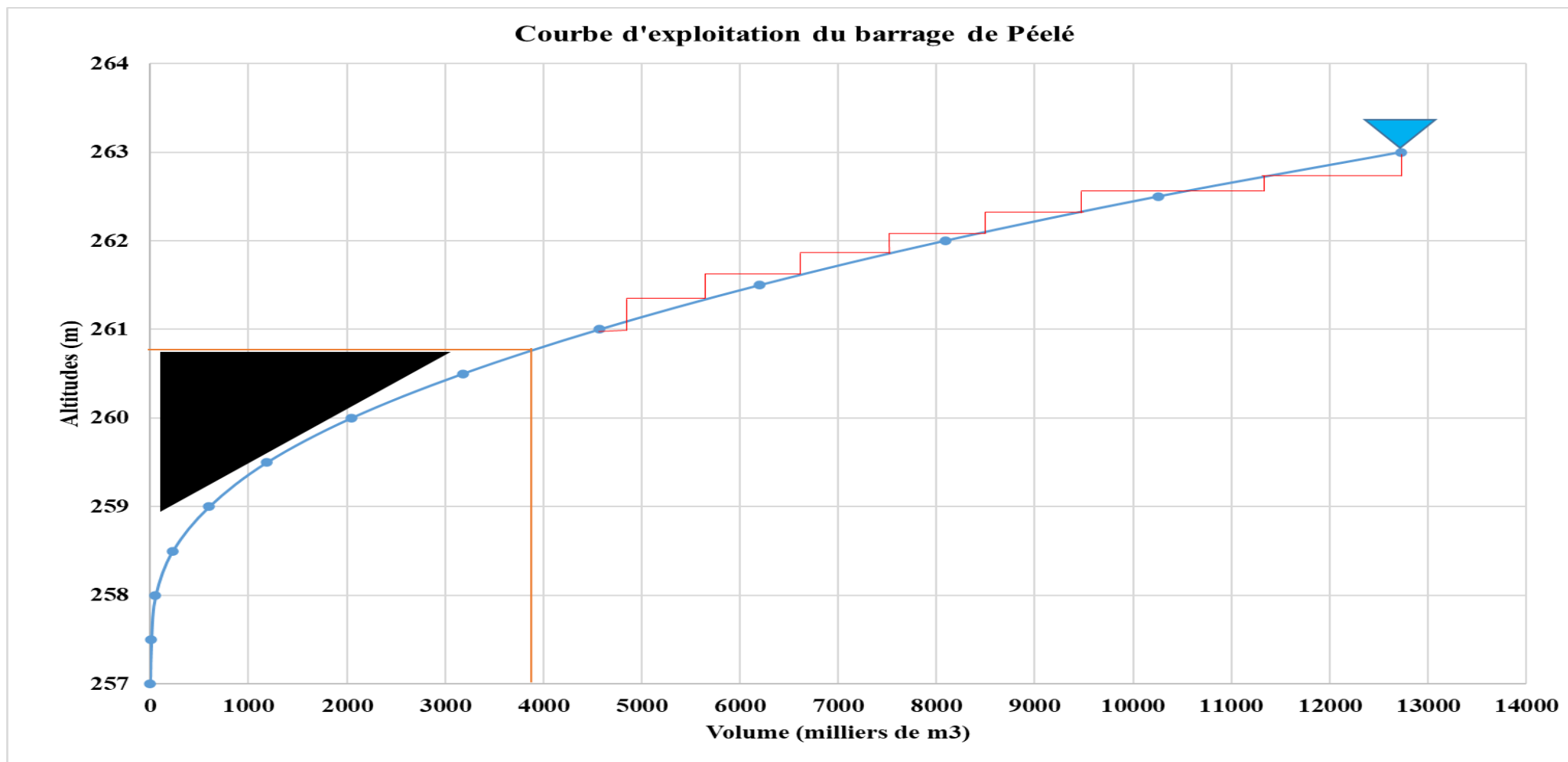


Figure 11 : Courbe d'exploitation de la retenue du barrage de Pélé

V.3. Conception et dimensionnement du barrage

V.3.1. Etude de la digue

V.3.1.1. Caractéristiques de la digue

Le choix du type de digue, dépend essentiellement de la quantité et de la qualité des matériaux identifiés dans les zones d'emprunt, de la facilité d'exécution et de l'économie du projet. Pour la digue du barrage de Péelé, nous avons opté pour une digue à zones, avec un noyau argileux central, des parements en latérite, avec des protections de talus en perrés. Les raisons de ce choix sont entre autres : (i) l'indisponibilité de matériaux argileux couvrant les quantités nécessaires aux remblais de la tranchée d'ancrage et d'une digue homogène ; (ii) l'éloignement des carrières d'emprunt (plus d'un km), qui pourrait renchérir le coût de travaux de reconstruction du barrage et (iii) le choix de minimiser les risques d'utilisation de matériaux dispersifs, préjudiciables à la bonne tenue des remblais.

Les talus doivent avoir des pentes, qui permettent d'assurer la stabilité de la digue. Pour un barrage en terre zonée, des pentes de 2H/1V à l'amont et 2,5H/1V à l'aval sont admises, pour les digues de hauteurs comprise entre 5 m et 10 m. Suivant les conclusions des investigations géophysiques et géotechniques, la fondation du barrage sera sur les argiles et les profondeurs d'encrage varient de 1,00 m sur les rives à 5,00 m au niveau du lit mineur avec une moyenne de 2,38 m. Les principales caractéristiques de la digue sont regroupées dans le Tableau 19.

Tableau 19 : Principales caractéristiques de la digue

Paramètres	Valeurs retenues
Côte au PEN (m)	263
Côte au PHE (m)	264
Revanche libre (m)	1
Revanche totale (m)	2
Largeur en crête de la digue (m)	4
Epaisseur de la couche de couronnement (m)	0,2
Hauteur maximale de la digue (m)	6,75
Côte crête digue crête (m)	265
Largeur en base de la digue (m)	34,4
Longueur sans déversoir (m)	1050
Epaisseur de couche de pose filtrante (m)	0,2
Epaisseur couche de protection des talus (m)	0,25
Pente de talus amont	2/1
Pente de talus aval	2,5/1

V.3.1.2. Protection des talus et de la crête

Le talus amont sera protégé en perré sec, d'une épaisseur de 25 cm sur une couche de pose filtrante constituée de graves latéritiques d'épaisseur 20 cm. Une butée de pied sera réalisée pour bloquer le perré vis à vis du glissement. Elle sera de forme trapézoïdale de 1,50 m de largeur en gueule. Le talus aval même s'il n'est pas en contact permanent avec l'eau, il nécessite aussi une protection pour lutter contre l'action érosive causée par les eaux de ruissellement et contre le piétinement des animaux. La protection du talus aval consistera à la pose d'un drain de pied de dimensions 1,50mx0,50m en enrochement de moellons latéritiques du perrés secs d'épaisseur 25 cm sur une couche de pose de 20 cm. De part et d'autre du déversoir, le talus aval sera protégé en perrés maçonnés sur une largeur de 20 m afin de renforcer l'adhérence entre les murs bajoyers et le remblai.

Ce type de protection, bien que plus onéreux a été retenu, au regard de l'importance de la digue et aussi pour pallier au manque d'expérience des communautés, dans l'entretien des talus des digues et des barrages en général.

La couche supérieure du remblai sera constituée de matériaux graveleux latéritiques, soigneusement compacté dans le but d'opposer une assez bonne résistance aux agents atmosphériques. Cette couche aura une épaisseur de 20 cm. La crête de la digue aura une pente transversale de 3 % vers l'aval, afin d'éviter la stagnation d'eau sur la crête de la digue. Les eaux de ruissellement seront conduites vers le talus aval protégé en perrés secs.

Compte tenu de l'existence de cette pente, la cote de la crête sera donc de 265 m en amont 264,95 m en aval. Pour lutter contre les dégradations dues aux griffes d'érosion qui prendront leur source à partir de la crête de la digue, il sera mis en place un mur de crête aval arasé de 0,50 mx0,50 m, en maçonnerie de moellons et un muret parapet en amont de 0,5mx0,50 m. La stabilité des talus sont assurées avec des coefficients de sécurité de Bishop de 2,44 et 2,11 respectivement pour les talus amont et aval. Les détails de calcul de la digue sont en **Annexe III** du présent document.

V.3.2. Etude de l'évacuateur de crue

L'évacuateur de crue est constitué d'un déversoir poids en béton cyclopéen, d'un bassin de dissipation type II USBR, d'un chenal d'évacuation et de deux murs bajoyers.

V.3.2.1. Le déversoir

Il s'agit de déterminer une longueur optimale pour le déversoir :

Laminage de la crue par la méthode X_0 et celle des abaques

Le déversoir en béton admet à titre indicatif des charges maximales comprise entre 0,7 et 1 m voire 1,2 à 1,5 m si la réalisation est soignée et le profil étudié (**J.M DURAND, 1996**). Ainsi, avec la méthode X_0 et celle des abaques utilisés pour le laminage sur la base d'une charge admissible de 1 m au-dessus du seuil, nous avons obtenu respectivement les longueurs de 245 m et de 248 m. Ces deux valeurs sont proches, mais pour tenir compte des effets des changements climatiques (avènement de plus en plus fréquent des événements pluvieux exceptionnels comme la pluie du 1^{er} septembre 2009 sur Ouagadougou) et pour des raisons d'amélioration de la sécurité des investissements dans la zone du projet mais aussi les dispositions constructives, nous avons retenu une longueur 250 m pour le déversoir.

Le débit laminé correspondant à cette longueur retenue est de 454 m³/s soit 89 % du débit de projet. Le consultant a proposé par contre une longueur de 350 m pour le déversoir. Cette différence peut s'expliquer par le fait que ledit consultant a choisi de négliger l'effet de laminage mais aussi par la différence au niveau de la crue du projet. Ainsi, pour une crue de 505 m³/s dans notre cas, le consultant a obtenu une crue de projet de 560 m³/s.

Pour la suite du processus, nous optons pour une longueur de 250 m qui tient compte de la sécurité de l'ouvrage mais aussi du facteur économique du projet.

Etude de stabilité du déversoir

Le déversoir sera de type déversoir poids en béton cyclopéen dosé à 300 kg/m³ et coulé par plots de 10 m séparés par des joints WATERSTOP. Les résultats de vérification des différentes conditions de stabilité du déversoir sont consignés dans le Tableau 20.

Tableau 20: Etude de la stabilité du déversoir

Désignation		Unité	Valeurs
Stabilité externe			
Non glissement (condition à vérifier $F_g \geq 1,2$)			
Forces verticales (Fs)	W-U	KN/ml	344,58
Forces horizontales (Fh)	Pe+Pt	KN/ml	167,06
Facteur de sécurité au non glissement	$(W-U)/(Pe+Pt)$		1,34
Non renversement (condition à vérifier $Fr \geq 1,5$)			
Moments stabilisants (Ms)	M(W-U)	KN.m/ml	1793,24
Moments renversants (Mr)	M(Pe+Pt)	KN.m/ml	294,81
Facteur de sécurité au non renversement	Ms/Mr	-	6,08
Stabilité interne			
Non fissuration	Règle du tiers centrale $e \leq (b/6)$		
Excentricité		m	-0,67
Largeur en base sur six		m	1,54
Non rupture	$\sigma_{max} \geq \sigma_{lim,b}$		
Contrainte maximale	σ_{max}	MPa	0,05335
Contrainte limite du béton	$\sigma_{lim,b}$	MPa	6

Les détails sont illustrés en **annexe IV**

V.3.2.2. Le chenal d'évacuation

Le chenal d'évacuation de section trapézoïdale. Les berges seront taillées et protégées avec du perré maçonné. Le chenal aura une largeur au radier $b = 250$ m sur 25 m qui se rétrécit pour prendre la forme du cours d'eau naturel. Sur les 25 m, les berges du chenal seront stabilisées avec du perré maçonné.

V.3.2.3. Le bassin de dissipation

Suivant la nature des matériaux du fond du chenal, nous admettons un coefficient de rugosité de Manning-Strickler K_s de $60 \text{ m}^{1/3}$. Avec un débit de $454 \text{ m}^3/\text{s}$ à évacuer sur une longueur déversante de 250 m, le tirant d'eau normal (y_n) est de l'ordre de 0,6 m dans le bassin de dissipation. Ce bassin est de type II USBR et aura une largeur de 5 m. Les caractéristiques du

bassin de dissipation sont consignées dans le tableau 21 ci-dessous.

Tableau 21 : Dimensions du bassin de dissipation

Bassin de dissipation				
Longueur	Type	Tiran d'eau normale y_n	Largeur	Enfoncement D
250 m	II	0,6 m	5 m	1,1 m
Blocs de chute				
Hauteur h_1		Largeur en base b_1	Espacement e_1	
17 cm		17 cm	17 cm	
Blocs de chicanes				
Hauteur h_2	Pente	Epaisseur en crête	Largeur	Espacement e_2
35 cm	1/1	7 cm	26 cm	26 cm
Seuil terminal du bassin				
Pente		Hauteur h_4	Longueur de protection aval	
2H/1V		26 cm	10 m	

V.3.2.4. Les murs bajoyers

Les murs bajoyers sont des murs destinés à limiter latéralement un écoulement sur le parement du barrage ou à séparer un écoulement en plusieurs parties. Ils sont placés de part et d'autre du déversoir et assurent la jonction entre ce dernier et la digue.

Un mur bajoyer est assimilable à un mur de soutènement en béton armé. La structure est étudiée sur une tranche linéaire de 1 m de longueur. Pour un mur en T sans contreforts, cela revient à calculer le voile, le patin et le talon (Dr. MESSAN, 2015).

Dimensionnement du mur bajoyer

La hauteur maximale de la digue vaut 6,75 m. En intégrant l'ancrage du mur on prendra une hauteur du mur de soutènement égale à 7,85 m. Les résultats de prédimensionnement se présentent comme suit (Tableau 22).

Tableau 22: Eléments de prédimensionnement du mur de soutènement

Désignation	Valeurs
Hauteur du remblai argileux H (m)	6,75
Epaissur de la crête du voile e_0 (m)	0,35
Epaissur de la base du voile e_1 (m)	0,70
Epaissur de la semelle e_2 (m)	0,70
Largeur de la semelle b (m)	4,30
Largeur du patin de la semelle b_1 (m)	1,30

Désignation	Valeurs
Largeur du talon de la semelle b_2 (m)	2,30
β	0,00

La vérification des stabilités (glissement et renversement) et le dimensionnement du mur sont faits avec le logiciel CYPE 2016 (voir coupe transversale, plan de ferrailage et note de calcul en **Annexe IV**).

V.3.3. Les ouvrages de prise d'eau et de vidange

Ouvrage de prise

La simulation de l'exploitation de la retenue a permis de déterminer la côte de l'eau à la fin de la campagne de contre-saison qui est de 261 m. Les prises d'eau sont ainsi calées à la côte 260 m. chaque ouvrage de prise est constitué de deux bacs (amont et aval) dont la commande est en aval à travers une vanne. Les bacs amont et aval sont reliés par une conduite en fonte ductile de diamètre nominal de 400 mm en rive gauche et droite (Voir note de calcul en **annexe V**).

Ouvrage de vidange

Pour tenir compte du temps de vidange et la hauteur du noyau, un diamètre de 800 mm a été retenu. (Voir note de calcul en **annexe V**).

V.4. Dispositif de suivi et de maintenance

La mise en place de dispositifs de suivi et de maintenance du barrage durant son exploitation est recommandée. Il permet un bon suivi du fonctionnement du barrage et de prévenir les dégradations majeures qui pourront survenir ultérieurement. Au regard de la taille du barrage (C.F.G.B., 2002), le dispositif de suivi peut se résumer comme suit :

V.4.1. Dispositif de suivi du barrage

La maîtrise de l'évolution de la ressource en eau mobilisée dans la cuvette permet une meilleure planification des usages à entreprendre. De ce fait, il sera prévu une batterie d'échelles limnimétrique composée de sept (07) éléments de 1 m pour le suivi du niveau de l'eau dans la retenue. Elle sera installée sur le talus amont au voisinage de la prise d'eau.

Deux (02) bornes références seront également implantées dont une en rive gauche et l'autre en rive droite pour le suivi topographique de la digue.

V.4.2. Dispositif de surveillance et d'entretien

L'objectif principal de ce dispositif est de maintenir les ouvrages du barrage en bon état de fonctionnement. Le comité d'exploitants initialement mis en place sera redynamisé afin qu'il

puisse assurer la surveillance et l'entretien courant de l'ouvrage. A ce titre, il veillera à :

- ✓ identifier les défauts de fonctionnement ou détériorations quelconques (fissures, inégalités de tassement, fuites, éboulements, érosion régressive, etc.) ;
- ✓ saisir les autorités locales chargées de l'hydraulique sur les anomalies jugées préoccupantes ;
- ✓ nettoyer régulièrement la végétation sur la digue du barrage ;
- ✓ réparer les petites dégradations (remise en place des moellons, comblement des ravines, nettoyage de l'emprise de la prise d'eau, etc.) ;
- ✓ veiller au respect du calendrier cultural (novembre à avril pour les cultures de contre saison et juin à novembre pour les cultures pluviales).

Le comité bénéficiera de formations et d'outils sur la surveillance et la maintenance des barrages. Au cours des trois (03) premières années de mise en eau du barrage, le comité bénéficiera d'un appui financier pour plus d'efficacité. Il travaillera sous le contrôle de l'Agence de l'Eau du Nakambe qui est la structure chargée de la mise en œuvre de la politique nationale sur la Gestion Intégrée des Ressources en Eau dans la zone du projet.

V.4.3. Protection du plan d'eau

Le bornage de la limite du périmètre des Plus Hautes Eaux (PHE) avec des balises parallélépipèdes en béton légèrement armé dosé à 350 kg/m³, de base 30 x 30 cm, de hauteur totale 1,50 m ancrées de 50 cm dans le sol (hauteur hors sol : 1,00 m) et de sommet 20 x 20 cm², peints en rouge et blanc, disposées à tous les 100 m et aux points singuliers sur le périmètre du PHE. Ainsi, les activités ci-dessous seront menées :

- les levés topographiques et la délimitation du périmètre du PHE ;
- la confection et la pose des bornes ;
- l'application de la peinture à huile (blanche sur 80 cm et rouge sur 20 cm) ;
- l'élaboration des plans de bornage ;
- l'information des riverains ;

V.5. Etude d'impacts environnementales et sociales du barrage de Péelé

Le bureau d'étude BERA a réalisé une Etude d'Impacts Environnementaux et Sociaux (EIES) en lieu et place d'une notice d'impact environnemental et social. En effet, la gestion des impacts environnementaux et sociaux est régie par le décret 2015-1187 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 trois (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 « A » des projets soumis à la réalisation d'une Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES). L'étude d'impact environnemental et social (EIES) vise à fournir toutes les indications sérieuses afin de faciliter une appréciation globale des incidences environnementales du projet. C'est dans ce cadre que les impacts potentiels ont été identifiés (**Tableau 23**). Ces impacts ont fait l'objet d'analyse suivant la grille d'évaluation de FECTEAU (**Annexe VI**) afin d'apprécier leur importance. Cette analyse est assortie d'un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) dont la mise en œuvre permettra d'atténuer les impacts négatifs et bonifier les impacts positifs du projet. Ce PGES comprend entre autres les mesures d'atténuation et de bonification proposées, les acteurs de mise en œuvre, les indicateurs de suivi ainsi que l'estimation sommaire du coût des mesures proposées.

Le PGES est joint en **Annexe VI**. L'Etude a permis de voir que les impacts négatifs existent sur l'environnement du projet mais sont d'importance mineure dans l'ensemble. Toutefois, des mesures d'atténuation sont proposées en vue d'améliorer la valeur ajoutée du projet sur les populations riveraines et sur l'environnement du barrage en général.

Tableau 23 : Synthèse d'évaluation des impacts du projet

Activités sources d'impact	Milieu affecté	Impacts identifiés	Evaluation de l'importance des impacts				
			Catégorie d'impact	Intensité	Etendue (portée géographique)	Durée	Importance
PHASE D'INSTALLATION ET DES TRAVAUX							
Installation du chantier Dégagement des emprises et exécution des ouvrages	Milieu biophysique						
	Sols	Accélération de l'érosion et risques de contaminations par les produits chimiques	Négatif	Faible	Moyenne	Courte	Mineure
	Air et climat sonore	Pollutions atmosphérique et nuisances sonores	Négatif	Moyenne	Locale	Moyenne	Mineure
	Eaux de surface	Contaminations des eaux par les polluants	Négatif	Faible	Locale	Moyenne	Moyenne
	Eaux souterraines	Contaminations des eaux par les polluants	Négatif	Faible	Locale	Courte	Mineure
	Végétation	Destruction de la végétation de jachère	Négatif	Moyenne	Locale	Courte	Mineure
	Faune	Destruction des habitats de la faune	Négatif	Faible	Locale	Moyenne	Mineure
	Milieu humain						
	Cadre de vie	Production de déchets constitués de gravats et de débris végétaux	Négatif	Forte	Ponctuelle	Courte	Majeure
	Bruits	Nuisances sonores liées aux engins produisant grands bruits	Négatif	Moyenne	Ponctuelle	Moyenne	Moyenne
	Santé, Sécurité de la population riveraine des ouvriers	Nuisances diverses et maladies respiratoires dues aux gaz d'échappement et à la poussière.	Négatif	Faible	Régionale	Longue	Majeure
	Activités agropastorales	Pertes de superficies cultivables et de pâturages pour les animaux	Négatif	Moyenne	Locale	Moyenne	Majeure

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Activités sources d'impact	Milieu affecté	Impacts identifiés	Evaluation de l'importance des impacts				
			Catégorie d'impact	Intensité	Etendue (portée géographique)	Durée	Importance
	Emploi et commerce	Création d'emploi et développement des activités commerciales avec l'installation de l'entreprise	Positif	Moyenne	Locale	Courte	Mineure
	Patrimoine archéologique	Risques probables de destruction de patrimoine culturels et archéologique	Négatif	Faible	Ponctuelle	Longue	Mineure
PHASE D'EXPLOITATION							
Mise en exploitation du barrage	Milieu biophysique						
	Sols	Modification de la dynamique physico-chimique des sols	Négatif	Faible	Locale	Longue	Moyenne
	Eaux de surface	Disponibilité d'une grande quantité d'eau pour les besoins humains et animaux recharge de la nappe phréatique	Positif	Forte	Régionale	Longue	Majeure
	Eaux souterraines	Disponibilité d'une grande quantité d'eau pour les besoins humains et animaux recharge de la nappe phréatique	Positif	Forte	Locale	Longue	Majeure
	Végétation	Mort de la végétation naturelles et des plantations ne supportant pas l'immersion prolongée.	Négatif	Faible	Locale	Longue	Moyenne
	Faune	Recolonisation du site par la faune aquatique (batraciens, insectes, crocodiles etc.). Disponibilité de l'eau pour les animaux sauvages	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
	Milieu humain						
	Santé, sécurité des populations riveraines	Effet dommageable sur la santé de la population, développement des insectes vecteurs de maladies (paludisme, bilharziose etc. et risques de noyades.	Négatif	Moyenne	Locale	Moyenne	Moyenne

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Pélélé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Activités sources d'impact	Milieu affecté	Impacts identifiés	Evaluation de l'importance des impacts				
			Catégorie d'impact	Intensité	Etendue (portée géographique)	Durée	Importance
	Activités agropastorales	Développement et intensification des activités agropastorales avec la présence prolongée de l'eau	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
	Emploi et commerce	Apparition d'ouvriers temporaires pour les activités de maraichages et développement des transactions commerciales sur les produits de la pêche et du maraichage	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
	Pêche	Développement de la pêche avec la présence de la retenue	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
	Conditions de vie des femmes rurales et les groupes vulnérables	Amélioration des conditions des femmes avec les activités génératrices de revenus qu'elles pourront menées.	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
	Artisanat	Développement des activités artisanales	Positif	Faible	Locale	Longue	Mineure
	Patrimoine archéologique	Risques probables de destruction de patrimoine culturels et archéologique	Négatif	Faible	Ponctuelle	Longue	Mineure

Source : EIES, Bureau d'Etude BERA, septembre 2021

V.6.Coût du projet

Le coût de mise en œuvre du projet de reconstruction du barrage de Péelé est évalué à **deux milliards huit cent vingt-huit millions quatre-vingt-deux mille quatre cent quatre-vingt-dix-sept (2 828 082 497) francs CFA HT** (Tableau 25). Les détails sur l'évaluation des coûts de mise en œuvre du PGES et de réalisation des travaux sont respectivement en Annexe VI et en Annexe VII.

Tableau 24 : Coût du projet

Désignation	Coût HT (F CFA)	Ratio (%)
Installation et fonctionnement du chantier	61 700 000	2,16%
Tranchée d'ancrage et fondation	189 931 319	6,64%
Digue	1 281 749 046	44,79%
Evacuateur de crue	1 143 858 237	39,97%
Ouvrages de prise et de vidange	85 532 895	2,99%
Diguettes de protection	37 626 000	1,31%
Dispositif d'auscultation et Mesures de protection du plan d'eau	27 685 000	0,97%
Total des travaux de réhabilitation	2 828 082 497	98,83%
Plan de Gestion de l'Environnement	33 478 613	1,17%
Total Général	2 861 561 110	100,00%

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les études de faisabilité pour la reconstruction du barrage de Péelé s'inscrivent dans le cadre d'une volonté politique d'assurer la sécurité alimentaire et de réduire la pauvreté des populations en milieu rural. La réalisation de ce projet permettra de remobiliser l'eau pour l'atteinte de la sécurité alimentaire, l'amélioration des conditions de vie des populations de Péelé et villages environnants en particulier et contribuer à l'essor socio-économique pour l'ensemble de la commune de Koubri. Au terme de nos études, il est préconisé une reconstruction complète du barrage avec changement d'axe.

Avec les nouvelles propositions de reconstruction du barrage, sa capacité qui était initialement de **7 000 000 m³** passera à **12 725 251 m³**.

Le coût global de la reconstruction du barrage de Péelé est de **2 828 082 497 FCFA HT** afin de disponibiliser l'eau qui sera d'une importance capitale dans le développement socio-économique de la localité.

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 :

- ✓ mettre en œuvre le Plan de Gestion Environnementale et Social (PGES) annexé à l'Etude d'Impact Environnementale et Social (EIES) ;
- ✓ mettre en place un comité d'exploitants pour assurer principalement le suivi et l'entretien courant du barrage;
- ✓ réaliser une piste à bétail pour l'accès au barrage;
- ✓ réaliser un périmètre irrigué en aval du barrage au profit des populations;
- ✓ réaliser un radier pour faciliter la circulation entre le village et les autres villages à l'aval du barrage ;
- ✓ renforcer les capacités des exploitants aux bonnes pratiques agricoles pour éviter l'envasement du lit du barrage mais aussi la pollution de l'eau.

BIBLIOGRAPHIE

- ✚ ALIDA NADEGE THIOMBIANO. Variabilité climatique et impacts sur les ressources en eau au Burkina Faso : étude de cas du bassin hydrographique du fleuve nakambe. Etude de l'environnement. Moncton. Université de Moncton, 2011, 111 pages.
- ✚ Comité Français des Grands Barrages CFCB. Petits barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Paris : Cemagref éd. ; Engref coéd, 2002, 183 pages.
- ✚ Commune de Péelé. Plan Communal de Développement de la Commune de Koubri. Koubri : 2015, 87 pages.
- ✚ Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques. Inventaire des Infrastructures Hydrauliques. Ouagadougou : 2019.
- ✚ FAO. Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. Rome : Cemagref Editions, 1996, 265 pages.
- ✚ H. KARAMBIRI et D. NIANG, « Cours d'hydrologie 2ie. » 2011.
- ✚ GUEYE, « Cours de barrage, 2ie ». 2011.
- ✚ J. C. BEGOU, « Analyse des écoulements de surface ; cours AGRHYMET ». 2010.
- ✚ Jean-Maurice DURAND, Paul ROYET, et Patrice MERIAUX. Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale. Paris : Cemagref Editions, 1999, 401 pages.
- ✚ Jean Michel GRESILLON, Patrick HERTER, et Jean Pierre LAHAYE. Note sur le dimensionnement des ouvrages évacuateurs de crues en Afrique de l'ouest sahélienne ou tropicale. 1976, 49 pages.
- ✚ MERH. Plan national d'adaptation aux changements climatiques du Burkina Faso, volume principal, version finale ». 2015, 155 pages.
- ✚ M. L. COMPAORE. Cours de barrage. 2ème édition. Ouagadougou : 1996, 277 pages.

Sites internet

<https://www2.jpl.naza.gov/srtm>

ANNEXES

Annexe I : Etudes pluviométriques	64
Annexe II : Etudes Hydrologiques	71
Annexe III : Etude de la digue	91
Annexe IV : Etude du déversoir - bassin de dissipation – canal d’évacuation – bajoyers.....	98
Annexe V : Note de calcul ouvrage de prise d'eau et de vidange	123
Annexe VI : Synthèses des impacts du projet sur l’environnemental et le social.....	125
Annexe VII : Avant métré et devis quantitatif et estimatif	142
Annexe VIII : Pièces graphiques.....	142

Annexe I : Etudes pluviométriques

Données pluviométriques annuelles et maximales journalières de la station de Ouagadougou

Année	Pluie maximale journalière (mm)	Pluie annuelle (mm)
1952	758,6	60,2
1953	884,3	120,5
1954	949,8	52,5
1955	1 040,4	57,2
1956	1 102,0	77,1
1957	993,4	109,7
1958	766,4	52,2
1959	989,8	91,2
1960	803,5	52,8
1961	696,2	48,6
1962	1 183,2	93,6
1963	656,8	58,4
1964	1 103,2	57,3
1965	852,2	62,4
1966	648,1	42,7
1967	764,4	56,1
1968	773,6	40,2
1969	1 045,3	102,7
1970	728,8	89,6
1971	726,4	89,8
1972	1 060,0	59,9
1973	745,9	59,0
1974	924,1	60,5
1975	755,6	65,6
1976	1 106,2	76,7
1977	568,9	89,3
1978	764,2	67,5
1979	730,8	46,5
1980	593,2	45,7

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péélé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Année	Pluie maximale journalière (mm)	Pluie annuelle (mm)
1981	713,6	61,5
1982	634,7	37,1
1983	674,6	63,3
1984	571,4	42,8
1985	673,9	50,4
1986	794,2	47,2
1987	784,5	75,6
1988	734,9	64,2
1989	797,8	74,9
1990	675,9	55,0
1991	900,7	105,2
1992	698,7	53,9
1993	750,6	54,0
1994	727,8	58,2
1995	700,2	73,1
1996	677,4	70,3
1997	587,6	45,2
1998	669,3	72,4
1999	800,5	66,0
2000	594,4	58,6
2001	518,3	49,8
2002	655,9	58,1
2003	847,4	62,1
2004	791,9	55,1
2005	839,4	75,7
2006	596,8	36,3
2007	713,2	116,7
2008	808,0	58,4
2009	923,3	261,3
2010	849,6	70,4
2011	688,7	43,8

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Année	Pluie maximale journalière (mm)	Pluie annuelle (mm)
2012	991,2	67,8
2013	795,3	67,3
2014	843,9	57,2
2015	898,6	67,0
2016	974,1	94,5
2017	874,1	96,6
2018	860,2	66,2
2019	852,7	91,3
2020	955,7	-

Source : Direction de la météorologie/station de Ouagadougou

❖ Données sur l'évapotranspiration potentielle à la station de Ouagadougou de 1980 à 2017

Mois	jan.	févr.	mar.	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Nombre de jours	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Evbac (mm/mois)	227	248	318	327	331	282	229	189	191	238	233	219

Source : Direction de la météorologie/station de Ouagadougou

❖ Répartition de la pluviométrie annuelle

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.
Pluies	0,06	1,01	5,87	24,43	73,33	102,88	185,52	227,79	138,44	31,54	1,61	0,53
Pluies (%)	0,0	0,1	0,7	3,1	9,2	13,0	23,4	28,7	17,5	4,0	0,2	0,1

❖ Calcul des indices des pluies standardisés

Année	Pluies annuelles	Indice des Pluies Standardisés (IPS)
1952	758,6	-0,05
1953	884,3	0,10
1954	949,8	0,16
1955	1040,4	0,23
1956	1102	0,27
1957	993,4	0,20
1958	766,4	-0,04

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Année	Pluies annuelles	Indice des Pluies Standardisés (IPS)
1959	989,8	0,19
1960	803,5	0,01
1961	696,2	-0,15
1962	1183,2	0,32
1963	656,8	-0,22
1964	1103,2	0,28
1965	852,2	0,06
1966	648,1	-0,23
1967	764,4	-0,05
1968	773,6	-0,03
1969	1045,3	0,24
1970	728,8	-0,10
1971	726,4	-0,10
1972	1060	0,25
1973	745,9	-0,07
1974	924,1	0,13
1975	755,6	-0,06
1976	1106,2	0,28
1977	568,9	-0,41
1978	764,2	-0,05
1979	730,8	-0,09
1980	593,2	-0,35
1981	713,6	-0,12
1982	634,7	-0,26
1983	674,6	-0,18
1984	571,4	-0,40
1985	673,9	-0,19
1986	794,2	-0,01
1987	784,5	-0,02
1988	734,9	-0,09
1989	797,8	0,00
1990	675,9	-0,18
1991	900,7	0,11
1992	698,7	-0,14
1993	750,6	-0,06
1994	727,8	-0,10
1995	700,2	-0,14
1996	677,4	-0,18
1997	587,6	-0,36
1998	669,3	-0,19
1999	800,5	0,00
2000	594,4	-0,34
2001	518,3	-0,54
2002	655,9	-0,22
2003	847,4	0,06
2004	791,9	-0,01

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Année	Pluies annuelles	Indice des Pluies Standardisés (IPS)
2005	839,4	0,05
2006	596,8	-0,34
2007	713,2	-0,12
2008	808	0,01
2009	923,3	0,13
2010	849,6	0,06
2011	688,7	-0,16
2012	991,2	0,19
2013	795,3	-0,01
2014	843,9	0,05
2015	898,6	0,11
2016	974,1	0,18
2017	874,1	0,09
2018	860,2	0,07
2019	852,7	0,06
2020	955,7	0,16

❖ **Résultats de l'ajustement des pluies annuelles**

L'ajustement suivant la loi normale (ou loi de GAUSS) pour les pluies annuelles avec un intervalle de confiance de 95 % dont les résultats sont résumés dans le tableau ci-après.

Temps de Retour	Fréquence Expérimentale	Pluies Annuelles (mm)	Ecart-Type	Borne Inférieure	Borne Supérieure
10000	0,9999	1351,79	50,6765	1252,44	1451,13
2000	0,9995	1288,10	45,6084	1198,69	1377,51
1000	0,9990	1258,33	43,2721	1173,50	1343,17
200	0,9950	1181,88	37,4015	1108,56	1255,20
100	0,9900	1144,79	34,6427	1076,88	1212,71
50	0,9800	1104,27	31,7182	1042,09	1166,45
20	0,9500	1043,47	27,5712	989,418	1097,52
10	0,9000	989,432	24,2339	941,924	1036,94
5	0,8000	923,979	20,8655	883,074	964,883
3	0,6667	862,853	18,7188	826,157	899,549
2	0,5000	798,884	17,8971	763,799	833,969
3	0,3000	720,984	19,1031	683,534	758,433
5	0,2000	673,789	20,8655	632,885	714,694
10	0,1000	608,336	24,2339	560,829	655,844
20	0,0500	554,300	27,5712	500,249	608,350
50	0,0200	493,499	31,7182	431,319	555,679
100	0,0100	452,974	34,6427	385,060	520,887
200	0,0050	415,889	37,4015	342,567	489,211
1000	0,0010	339,433	43,2721	254,603	424,264
2000	0,0005	309,665	45,6084	220,254	399,075
10000	0,0001	245,982	50,6765	146,636	345,328

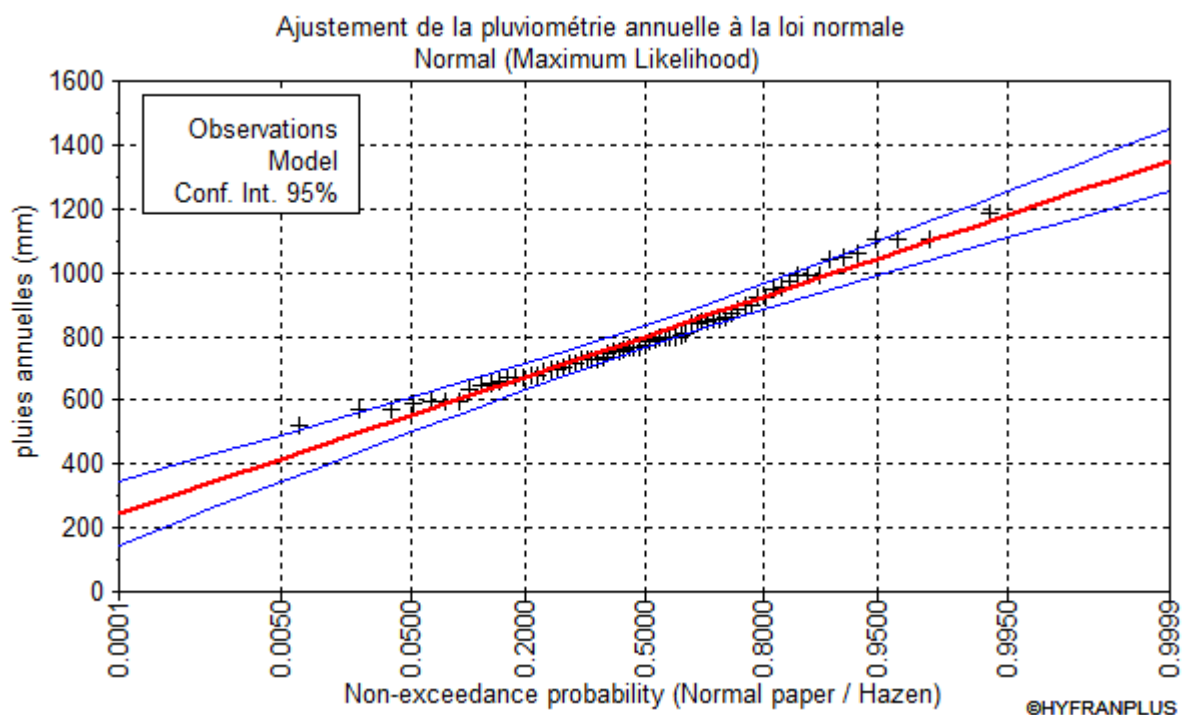


Illustration 1 : Courbe d'ajustement des pluies annuelles de la station de Ouagadougou

❖ Résultats de l'ajustement des pluies maximales journalières

L'ajustement suivant la loi de GUMBEL pour les pluies maximales journalières avec un intervalle de confiance de 95 % dont les résultats sont résumés dans le tableau ci-après.

Temps de Retour	Fréquence Expérimentale	Pluies journalières Maximales (mm)	Ecart-Type	Borne Inférieure	Borne supérieure
10000	0,9999	211,855	15,4889	181,490	242,219
2000	0,9995	184,996	12,9453	159,618	210,373
1000	0,9990	173,425	11,8531	150,189	196,662
200	0,9950	146,536	9,32837	128,249	164,824
100	0,9900	134,928	8,24764	118,760	151,097
50	0,9800	123,278	7,17217	109,217	137,338
20	0,9500	107,730	5,76031	96,4378	119,023
10	0,9000	95,7190	4,70166	86,5019	104,936
5	0,8000	83,1971	3,65675	76,0285	90,3658
3	0,6667	73,2317	2,91080	67,5254	78,9381
2	0,5000	64,2844	2,37138	59,6356	68,9333
3	0,3000	55,0712	2,05458	51,0435	59,0990
5	0,2000	50,2279	2,02669	46,2548	54,2010
10	0,1000	44,2517	2,13519	40,0659	48,4375
20	0,0500	39,8606	2,30382	35,3442	44,3770
50	0,0200	35,4076	2,53521	30,4376	40,3776
100	0,0100	32,6857	2,70009	27,3924	37,9789
200	0,0050	30,3461	2,85322	24,7526	35,9395
1000	0,0010	25,9199	3,16605	19,7132	32,1266

Temps de Retour	Fréquence Expérimentale	Pluies journalières Maximales (mm)	Ecart-Type	Borne Inférieure	Borne supérieure
2000	0,0005	24,3244	3,28490	17,8846	30,7641
10000	0,0001	21,1196	3,53150	14,1964	28,0427

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

$$\alpha = 16,69 ; u = 58,17 \text{ et } x = \text{valeur de la pluie maximale journalière}$$

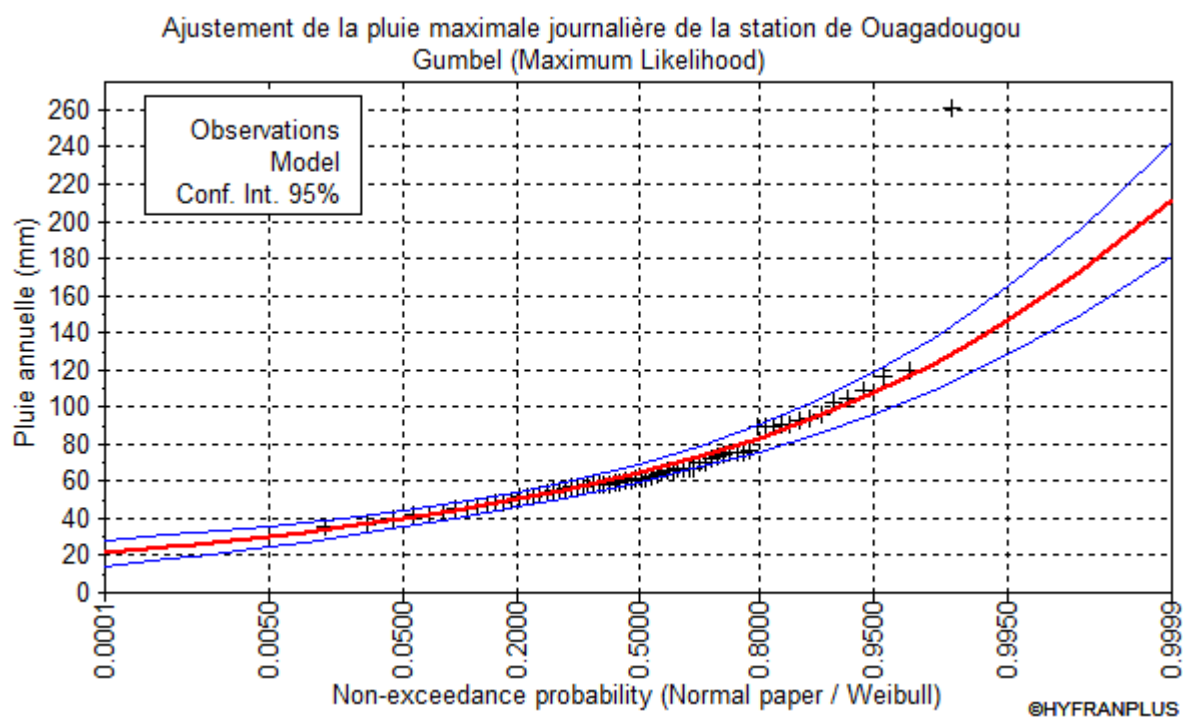


Illustration 2 : Courbe d'ajustement des pluies journalières maximales de la station de Ouagadougou

Annexe II : Etudes Hydrologiques

❖ Caractéristiques du bassin versant de Péelé

A partir des limites du bassin versant, le calcul de la superficie (S) et du Périmètre (P) donne :

✓ $S=1014,15 \text{ km}^2$

✓ $P=172,11 \text{ km}$

Calcul de l'indice de compacité K_G

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

$$K_G = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{S}} = 0,282 \times \frac{172,11}{\sqrt{1014,15}} = 1,51$$

La valeur de K_G est supérieure à 1,3 et on déduit que le bassin versant a une forme allongée.

Calcul de la longueur du rectangle équivalent

C'est la longueur qu'aurait un rectangle de même surface S et de périmètre P. Elle est calculée par la formule suivante :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4} = \frac{172,11 + \sqrt{(172,11)^2 - 16 \times 1014,15}}{4} = 71,96 \text{ km}$$

Calcul de la largeur du rectangle équivalent

Elle est calculée par la formule suivante :

$$L = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16S}}{4} = \frac{172,11 - \sqrt{(172,11)^2 - 16 \times 1014,15}}{4} = 14,09 \text{ km}$$

Pente moyenne I_{moy}

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

$$I_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{\sqrt{S}} = \frac{370 - 259}{\sqrt{1014,15}} = 3,49 \text{ m/km}$$

Pente longitudinale

La superficie du bassin versant influe de manière notable sur les débits de crues en augmentant ou en diminuant la vitesse de ruissellement suivant que la pente est forte ou faible. La détermination exacte de la pente est assez délicate en raison des variations à travers tout le bassin versant. La pente longitudinale du bassin versant est calculée par la formule simplifiée de GRESILLON :

$$I = \frac{0,026}{\sqrt{S}} \rightarrow I = \frac{0,026}{\sqrt{1014,15}} = 0,82 \text{ m/km}$$

Dans le cas du barrage de Péelé, la pente du bassin versant est égale à 0,82‰, donc inférieure à 2 m/km (2‰) ; ce qui permet de classer le bassin versant alimentant le barrage dans la classe R1.

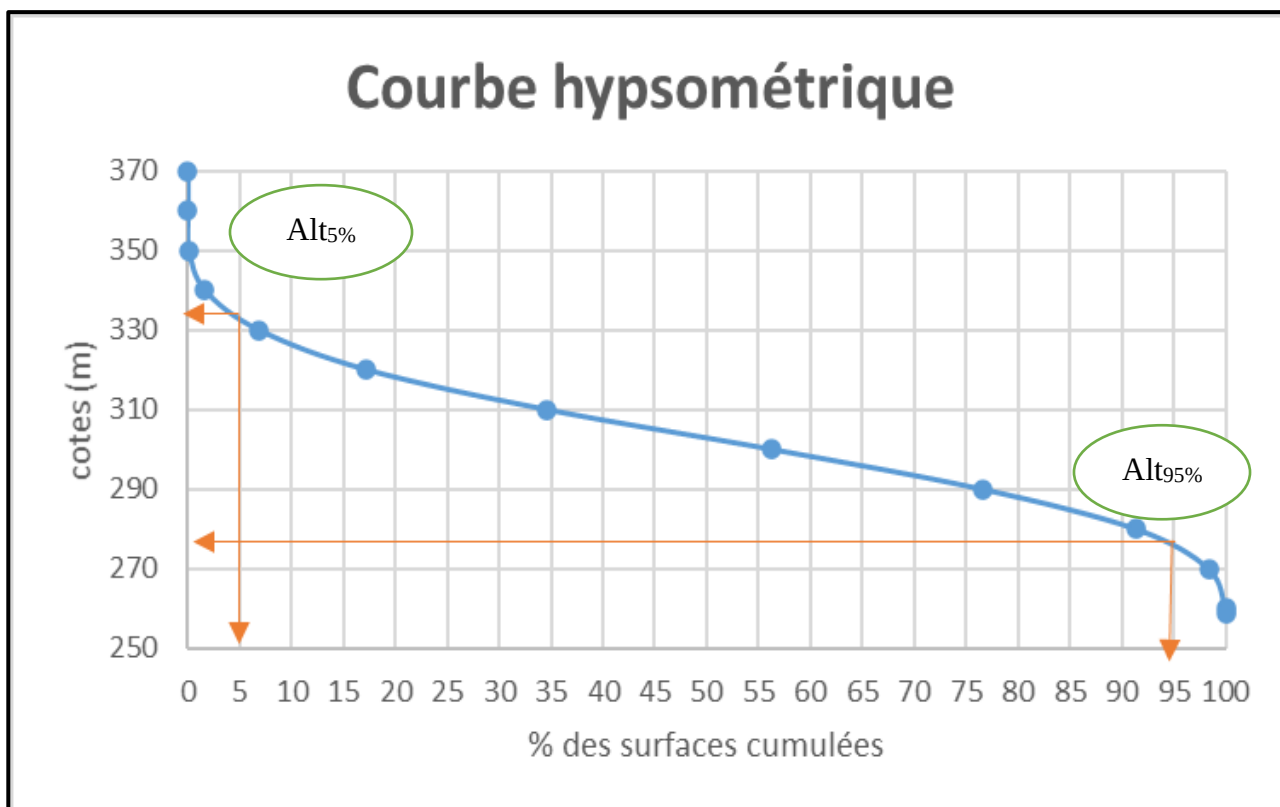
Perméabilité du sol

D'après les cartes pédologiques de reconnaissance de la Haute Volta (actuel Burkina Faso), établies par l'ORSTOM en 1973 et 1976, le bassin versant alimentant le barrage de Péelé se situe sur des sols bruns eutrophes, hydromorphes et d'érosion ou squelettiques. Ce sont des sols généralement argileux (à grande proportion), gravillonnaires reposant à moins de 40cm de profondeur, soit sur une carapace soit sur des matériaux ferrugineux meubles. Au regard de la nature des sols du bassin versant de Péelé, on peut classer le bassin versant dans la classe d'infiltration RI qui désigne un bassin versant relativement imperméable, suivant la classification de Rodier et Auvrey (1965). Dans cette classification, RI désigne les bassins dont les sols sont un mélange en proportions à peu près égales de sols imperméables et de sols perméables.

Courbe hypsométrique, Indice global de pentes

Après la délimitation du bassin versant et génération des courbes de niveau, nous avons procédé au calcul des surfaces entre des tranches d'altitude avec le logiciel ArcGis. Ainsi, on obtient les résultats suivants :

Altitudes (m)	Surfaces cumulées (km ²)	%surfaces cumulées décroissantes (%)
259	1014,153	100,00
260	1014,152	100,00
270	1013,290	98,41
280	997,893	91,39
290	945,119	76,54
300	839,651	56,30
310	663,393	34,59
320	443,220	17,21
330	237,932	6,81
340	87,306	1,60
350	16,138	0,09
360	0,029	0,00
370	0,000	0,00



A partir de la courbe hypsométrique, on remarque que moins de 10% du bassin versant se situe au-dessus de la côte 330 m. Les 90% du bassin se situe entre les altitudes 259 m et 330 m. A partir de la courbe hypsométrique, les altitudes caractéristiques ci-dessous sont déterminées.

Altitudes caractéristiques	Valeur (m)
Altitude à 5% de la surface du bassin $H_{5\%}$	333,56
Altitude à 95% de la surface du bassin $H_{95\%}$	275,11
Altitude médiane $H_{50\%}$	303,78
Altitude maximale H_{max}	370
Altitude minimale H_{min}	259

L'indice global des pentes a été calculé par la formule suivante :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = \frac{333,56 - 275,11}{71,96} = 0,81 \text{ m/km}$$

On note que le bassin versant de Péelé présente un réseau hydrographique en forme d'éventail très ouvert pour lesquels la longueur du rectangle équivalent est très différente de la longueur $L = 71,96$ km du thalweg le plus long $L_{cp} = 56,17$ km. Dans ce cas, l'indice de pente global représente très mal la pente du bassin versant. Ainsi, nous avons préféré utiliser la largeur du rectangle équivalent (I).

D'où :

DIALLO Harouna

Promotion : 2021-2022

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{l} = \frac{333,56 - 275,11}{14,09} = 4,15 \text{ m/km}$$

Densité de drainage Dd

La densité de drainage est le rapport entre la longueur totale des cours d'eau dans le bassin versant et de la superficie de celui-ci. La longueur totale des cours d'eau est déterminée par le logiciel ArcGIS et vaut 378,27 km.

$$D_d = \frac{\sum l_i}{S} = \frac{378,27}{1014,15} = 0,37 \text{ km/km}^2$$

Dénivelé spécifique Ds

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

$$D_s = I_{g\text{corr}} \times \sqrt{S} = 4,15 \times \sqrt{1014,15} = 132,07 \text{ m}$$

On a D_s est supérieure à 100 m, on a à faire à un relief fort.

Classification du bassin versant

- Superficie de 1014,15 km² : grand bassin versant selon le bulletin FAO 54 1996 ;
- Bassin versant de pente longitudinale moyenne de 0,82 m/km inférieure à 2 m/km : Bassin est de classe, selon la Méthode ORSTOM, R1 : correspondant à des pentes extrêmement faibles ;
- Au regard de la nature des sols du bassin versant de Péelé, on peut classer le bassin versant dans la classe d'infiltration RI qui désigne un bassin versant relativement imperméable, suivant la classification de Rodier et Auvrey (1965).
- Nous retenons que la classe de notre bassin est de type R1RI selon la classification de RODIER et AUVREY.

❖ Prédétermination des crues

Données caractéristiques du bassin versant et celles climatiques

Situation	Burkina Faso, Sous bassin du Nakambe
Surface	1014,15 Km ²
Pluviométrie moyenne annuelle	518,3 mm < 1183,2 mm < 1200 mm : Régime tropical sèche
Pluie journalière décennale	95,72 mm

Pluie journalière centennale	134,92
Pente moyenne	0,82 m/km
Indice global des pentes corrigé	4,15 m/km
Indice de compacité	1,51

Calcul de la crue décennale selon la méthode ORSTOM

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

- Détermination du coefficient de G. VUILLAUME A et du coefficient α_{10}

$A = 1 - 0,001 \times (9 \times \log_{10}(T) - 0,042 \times P_{an} + 152) \times \log_{10}(S)$ avec $T = 10$ ans ; $P_{an} = 798,88$ mm ; $S = 1014,15$ Km²

AN : $A = 0,62$

Quant à la valeur du coefficient de pointe α_{10} on l'a pris égale à 2.6

- Détermination de K_{r10} pour un indice global pente de 4,15 m/km

Sa valeur est déterminée par interpolation linéaire entre la valeur de K_{r70} (pour $P_{10} = 70$ mm et de K_{r100} (pour $P_{10} = 100$ mm) qui sont fonction de l'indice global de pente (Ig) et de l'indice d'infiltrabilité (RI) dans notre cas.

Détermination de K_{r70}

Pour Ig = 3 m/km, on a : $K_{r70} = \frac{150}{20+1014,15} + 15 = 15,15\%$

Pour Ig = 7 m/km, on a : $K_{r70} = \frac{200}{30+1014,15} + 17 = 17,19\%$

De ce qui précède, on a par interpolation linéaire :

Ig = 4,15 m/km ; $K_{r70} = 16,17\%$

Détermination de K_{r100}

Pour Ig = 3 m/km, on a : $K_{r100} = \frac{200}{20+1014,15} + 18,64 = 18,69\%$

Pour Ig = 7 m/km, on a : $K_{r100} = \frac{240}{30+1014,15} + 22 = 22,23\%$

De ce qui précède, on a par interpolation linéaire :

$$I_g = 4,15 \text{ m/km} ; K_{r100} = 18,64 \%$$

Conclusion : Des valeurs de K_{r100} et de K_{r70} on détermine la valeur de K_{r10} (pour $P_{10} = 95,72 \text{ mm}$) par interpolation linéaire. Ainsi on trouve : $K_{r10} = 18,29 \%$ et les données sont renseignées dans le tableau ci-dessous :

	$I_g \text{ (m/km)}$	a	B	C	$K_r \text{ (\%)}$	$K_{r10} \text{ (\%)}$
K_{r70}	3	150	20	15	15,15	18,29
	7	200	30	17	17,19	
	4,15				16,17	
K_{r100}	3	200	20	18,5	18,69	
	7	240	30	22	22,23	
	4,15				18,64	

- Détermination de la valeur du temps de base T_{b10}

Le temps de base T_{b10} est déterminé en utilisant les relations proposées dans le tableau ci-dessous.

Pour déterminer la valeur de T_{b10} , nous allons procéder par interpolation logarithmiques linéaire sur les valeurs de l'indice de pente (3 et 7) encadrant l'indice de pente du bassin versant.

- ✓ Pour $I_g = 3 \text{ m/km}$, on a : $T_{b10} = 325 \times (1014,15)^{0,36} + 315 = 4242,17 \text{ min}$
- ✓ Pour $I_g = 30 \text{ m/km}$, on a : $T_{b10} = 163 \times (1014,15)^{0,36} + 142 = 2111,63 \text{ min}$
- ✓ Pour $I_g = 4,15 \text{ m/km}$, on a $T_{b10} = 3629,64 \text{ min}$ par interpolation linéaire

- Détermination de la valeur du temps de monté T_{m10}

En zone tropicale sèche, sa valeur est déterminée par la relation suivante :

$$T_{m10} = 0,33 T_{b10} = 0,33 \times 3629,64 = 1209,88 \text{ min}$$

- Calcul de Q_{r10}

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

$$Q_{r10} = 0,617 \times 195,72 \times 0,1829 \times 10 \times 2,6 \times \frac{1014,15}{3629,64 \times 60} = 130,74 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Calcul de Q_{ret}

$$Q_{ret} = (0,03 + 0,05) \times \frac{Q_{r10}}{2}$$

$$Q_{ret} = (0,03 + 0,05) \times \frac{130,74}{2}$$

$$Q_{ret} = 5,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Détermination de la crue décennale selon ORSTOM

Nous avons ici un bassin versant de 1014,15 km² de classe d'infiltrabilité RI en zone tropicale sèche.

D'où:

$$Q_{10} = 1,1 \times Q_{r10} = 1,1 \times 130,74 = 143,81 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Calcul du volume de ruisselé décennal

$$V_{r10}(\text{m}^3) = 10^3 \times A \times P_{10}(\text{mm}) \times K_{r10} \times S (\text{km}^2)$$

$$V_{r10}(\text{m}^3) = 1000 \times 0,617 \times 95,72 \times 0,1829 \times 1014,15$$

$$V_{r10}(\text{m}^3) = 10\,950\,862,38$$

- ❖ Calcul du Volume d'écoulement retardé (m³) V_{ret10}

$$V_{ret}(\text{m}^3) = Q_{ret} (\text{m}^3/\text{s}) \times T_{b10} \times 60$$

$$V_{ret}(\text{m}^3) = 5,23 \times 3629,64 \times 60$$

$$V_{ret}(\text{m}^3) = 1\,138\,889,69$$

- ❖ Calcul du volume de crue total (m³) V_{c10}

$$V_{c10}(\text{m}^3) = V_{ret}(\text{m}^3) + V_{r10}(\text{m}^3)$$

$$V_{c10}(\text{m}^3) = 1\,138\,889,69 + 10\,950\,862,38$$

$$V_{c10}(\text{m}^3) = 12\,089\,752,06$$

Calcul de la crue décennale selon la méthode CIEH

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

S : Surface du bassin versant en km² ;

Pan : Pluie annuelle moyenne en mm ;

Ig : Indice global de pente en m/km ;

Kr₁₀ : Coefficient de ruissellement en % ;

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

La formule donnant le débit décennal est donnée par la formule suivant :

$Q_{10} = a \times S^b \times I_{g\text{corr}}^c \times K_{r10}^d \times P_{an}^e \times \dots$ Avec a, b, c, d et e des coefficients d'ajustement déterminés par régressions multiples.

On utilisera pour notre cas trois (03) équations de régressions les plus susceptibles d'approcher la crue décennale en fonction des paramètres les plus représentatifs que sont S, Ig, Kr₁₀. Elles présentent un nombre d'échantillons et un coefficient de corrélation (r²) élevés et se situent dans la zone pluviométrique et géographique de BURKINA FASO.

n° Equations	Echantillon	Corrélation(r ²)
39	61	0,818
40	60	0,824
44	133	0,757

Equation N°39 : Découpage par pays ou groupe de pays en fonction de S, et Kr₁₀.

$$Q_{10} = 0,410 \times S^{0,425} \times K_{r10}^{0,923}$$

Equation N°40 : Découpage par pays ou groupe de pays en fonction de S, Ig, Kr₁₀.

$$Q_{10} = 0,254 \times S^{0,462} \times I_g^{0,101} \times K_{r10}^{0,976}$$

Equation N°44 : Découpage par pays ou groupe de pays en fonction de S, Kr₁₀, PM₁₀.

$$Q_{10} = 203 \times S^{0,459} \times Pm_{10}^{-1,301} \times K_{r10}^{0,813}$$

Le calcul donne :

Paramètres	Valeurs	Valeurs de Q10 en m3/s par équation			Q10 en m3/s retenu
		N°39	N°40	N°44	
S (km ²)	1014,15	113,59	122,44	256,50	118,01
Ig corrigé (m/km)	4,15				
Kr10 (%)	18,29				

Des débits calculés, on note un écart entre les débits des équations n°39, 40 et le débit de l'équation n°44 qui supérieure au double des deux, nous retiendrons pour la méthode CIEH, la moyenne des résultats des équations N°39, N°40 soit $Q_{10} = 118,01 \text{ m}^3/\text{s}$

Calcul de la crue du projet

- Calcul du coefficient majorateur C

L'estimation des débits de pointe de la crue de période de retour supérieure à 10 ans se fera en admettant selon la théorie du Gradex (distributions statistiques des pluies et des débits Gumbeliennes), où toute précipitation extrême au-delà de la décennale, engendre un supplément de débit égal au supplément de pluie par rapport à la pluie décennale.

Le supplément de débit se traduit par un coefficient multiplicateur C supérieur à 1.

Le coefficient majorateur, proposé par GRESILLON, HERTER et LAHAYE et basé sur la méthode de Gradex de GUILLOT et DUBAND, après une étude critique des différents coefficients proposés est de forme :

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

$$C = 1 + \frac{134,93 - 95,72}{95,72} \times \frac{\left(\frac{60,49}{24}\right)^{0,12}}{0,1829}$$

$$C = 3,50$$

- Calcul de la crue centennale Q_{100}

Le choix de la valeur maximale donnée par les deux méthodes empiriques cadre avec le contexte de changements climatiques caractérisé par des averses de plus en plus fortes qui génèrent des crues importantes et brusques. Ainsi la valeur de la crue décennale (Q_{10}) adoptée sera la valeur maximale donnée par les méthodes ORSTOM et CEIH et est présentée dans le tableau ci-dessous :

	Méthode ORSTOM	Méthode CEIH	Crue adoptée
$Q_{10} (\text{m}^3/\text{s})$	143,81	118,01	143,81

La crue centennale est calculée suivant la formule ci-après :

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

$$Q_{100} = 3,50 \times 143,81$$

$$Q_{100} = 503,34 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous retiendrons comme débit de projet $Q_p = 505 \text{ m}^3/\text{s}$

• Hydrogramme de crue schématique

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{2}{\alpha \times 10} \times \frac{Tb10 - \alpha \times 10 \times Tm10}{Tb10 - 2 \times Tm10} = \frac{2}{2,6} \times \frac{3629,64 - 2,6 \times 1209,88}{3629,64 - 2 \times 1209,88} = 0,30769$$

On a: $Q = 0,30769 \times Q_{\max} = 0,30769 \times 505$

$$Q = 155,38 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Données de trace de l'hydrogramme

Q en m3/s	0	505	155,38	0
Temps en min	0	1 209,9	2 047,49	3 629,6

Calcul de la crue de sécurité

- Pluies maximales journalières

T	F	U	X ₀	S	Pluies maximales journalières (mm)
100000	0,99999	11,512921	58,17	16,69	250,27694
50000	0,99998	10,819768	58,17	16,69	238,71078
25000	0,99996	10,126611	58,17	16,69	227,14454
20000	0,99995	9,9034626	58,17	16,69	223,42101
10000	0,9999	9,2102904	58,17	16,69	211,85452
5000	0,9998	8,5170932	58,17	16,69	200,28761
2000	0,9995	7,6006524	58,17	16,69	184,99558
1000	0,999	6,9072551	58,17	16,69	173,42533
500	0,998	6,2136073	58,17	16,69	161,8509
400	0,9975	5,9902132	58,17	16,69	158,12328
200	0,995	5,2958121	58,17	16,69	146,53628
100	0,99	4,6001492	58,17	16,69	134,92823
50	0,98	3,9019387	58,17	16,69	123,27766
20	0,95	2,9701953	58,17	16,69	107,73029
10	0,9	2,2503673	58,17	16,69	95,719012

- Détermination de $H^2\sqrt{V}$

Nous avons un volume de la retenue $V = 12,725251 \text{ hm}^3$ et une hauteur du noyau $H = 6,55 \text{ m}$

On a : $H^2\sqrt{V} = (6,55)^2 \times \sqrt{12,725251}$

$H^2\sqrt{V} = 153,04$ compris entre 100 et 700 donc une période de retour $T = 5000$ ans

P10 (mm)	P5000(mm)	Tb (Heures)	Kr10	Q10 (m3/s)	C_{5000}	Q5000(m3/s)	Q5000(m3/s)
95,72	250,28	60,49	0,19	164,29	10,86	1784,86	1785

La crue de sécurité est la crue qui a une lame d'eau immédiatement supérieure à la revanche totale du barrage. Donc on adopte une crue de sécurité de $Q_{5000} = 1785 \text{ m}^3/\text{s}$.

Calcul de la crue de rupture

Selon le Comité International des Grands Barrages (CIGB), la Crue de rupture d'un barrage peut être approchée par la formule suivante :

$$Q_{\text{rupt}} = 2 \times l \times (a + 0,20)^{1,5} + 0,15 \times L$$

$$Q_{\text{rupt}} = 2 \times 250 \times (2 + 0,20)^{1,5} + 0,15 \times 2160,15$$

$$Q_{\text{rupt}} = 1957 \text{ m}^3/\text{s}$$

L = Longueur de la digue sans le déversoir en m

l = Longueur du déversoir en m

a = Revanche totale en m.

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

❖ **Etude de la cuvette**

▪ **Besoins agricoles**

Les besoins en eau agricoles sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Mois		Janvier	Février	Mars	Avril	Nov.	Déc.
Nombre de jours		31	28	31	30	30	31
Pluie mensuelle (mm)		0,06	1,01	5,87	24,43	1,61	0,53
Pluie efficace (mm)		0,06	1,01	5,87	19,54	1,61	0,53
ETP journalière (mm)		5,91	6,37	6,53	6,52	5,65	5,79
ETP mensuelle (mm)		183,33	178,42	202,55	195,60	169,44	179,60
Pomme de terre	Période						
	Kc Pomme de terre	1,15	1,01	0,31		0,55	0,89
	ETM mensuelle (mm)	210,83	180,21	62,79		93,19	159,85
	Besoins net mensuels (mm)	210,77	179,20	56,92		91,59	159,32
Tomate	Période						
	Kc Tomate	1,15	1,09	0,65		0,60	1,15
	ETM mensuelle (mm)	210,83	194,48	131,66		101,67	206,54
	Besoins net mensuels (mm)	210,77	193,48	125,79		100,06	206,02
Choux	Période						
	Kc Choux	1,15	1,15	1,14	0,37	0,60	0,97
	ETM mensuelle (mm)	210,83	205,19	230,91	72,37	101,67	174,21
	Besoins net mensuels (mm)	210,77	204,18	225,04	52,83	100,06	173,69
Gombo	Période						
	Kc gombo	1,02	0,91	0,94	0,95		0,76
	ETM mensuelle (mm)	186,99	162,36	190,40	185,82		136,50
	Besoins net mensuels (mm)	186,93	161,36	184,53	166,28		135,97
Oignon	Période						
	Kc Oignon	1,05	0,91			0,71	0,76
	ETM mensuelle (mm)	192,49	162,36			120,30	136,50
	Besoins net mensuels (mm)	192,43	161,36			118,70	135,97
Riz	Période						
	Kc riz	1,25	1,20	1,00		1,10	1,30
	ETM mensuelle (mm)	228,27	214,11	202,55		186,39	233,48
	Besoins net mensuels (mm)	228,21	213,10	196,68		184,78	232,96
Besoins net mensuels (mm)		228,21	213,10	225,04	166,28	184,78	232,96
Efficience globale		0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Besoins Brut mensuels (mm)		380,35	355,17	375,07	277,13	307,97	388,26
Besoins Brut mensuels (m3/ha)		3803,52	3551,70	3750,70	2771,34	3079,68	3882,59
Besoins Brut mensuels (m3)		950880,1	887924,3	937675,6	692835	769919,4	970648,5

▪ **Besoins en eau du cheptel**

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Les besoins du cheptel sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Effectifs Totaux horizon 2051		Consommation spécifique (l/j/tête)		Nombre de jours	Consommation mensuelle du cheptel (m ³ /mois)
	Gros bétails	Petits bétails	Gros bétails	Petits bétails		
Janvier	324	2547	40	15	31	672,53
Février	324	2547	40	15	28	897,47
Mars	1133	8916	40	15	31	3477,71
Avril	971	7642	40	15	30	2884,74
Mai	971	7642	40	15	31	2980,90
Juin	971	7642	40	15	30	2884,74
Octobre	324	2547	40	15	31	993,63
Novembre	324	2547	40	15	30	961,58
Décembre	324	2547	40	15	31	993,63

▪ **Besoins humains**

La population du village de Péelé est évaluée à 3640 habitants dans le plan communal de développement de Koubri. Le taux d'accroissement dans la commune est de 3,1%.

La projection de la population concernée l'horizon du projet (2051) donne 9096 habitants.

Avec l'hypothèse de 40l /habitant comme besoins journaliers, la consommation totale est évaluée à 99331 m³ entre octobre et juin et les détails sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Période (mois)	Jours	Taux de croissance	Consommation journalière (m ³ /j/hbt)	Consommation journalière en 2051 (m ³ /j)	Consommation mensuelle en 2051 (m ³ /mois)
Janvier	31	0,031	0,04	363,85	11279,32
Février	28	0,031	0,04	363,85	10187,78
Mars	31	0,031	0,04	363,85	11279,32
Avril	30	0,031	0,04	363,85	10915,47
Mai	31	0,031	0,04	363,85	11279,32
Juin	30	0,031	0,04	363,85	10915,47
Octobre	31	0,031	0,04	363,85	11279,32
Novembre	30	0,031	0,04	363,85	10915,47
Décembre	31	0,031	0,04	363,85	11279,32

▪ **Evaluation des pertes par évaporation et infiltration**

En disposant des données de l'évaporation Bac de classe A, nous allons calculer l'évaporation au niveau de la retenue en utilisant la formule de Bernard POUYAUD de ORSTOM. Quant à

l'infiltration, nous prendrons une valeur moyenne de 2 mm/j valeur moyenne usuelle (**M. L. COMPAORE, Novembre 1996**). Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Récapitulatif des pertes									
Mois	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	oct.	nov.	déc.
nbre jour	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0
Evbac (mm/mois)	226,8	247,5	318,1	327,1	330,6	282,1	238,1	232,8	218,8
Evbac (mm/j)	7,3	8,8	10,3	10,9	10,7	9,4	7,7	7,8	7,1
Evlac(mm/j)	5,5	3,6	4,0	7,0	6,9	6,4	5,7	5,7	5,4
Evlac(mm/mois)	170,9	102,1	123,6	210,3	214,5	192,4	176,0	171,4	167,3
Infiltration (mm/mois)	62,0	56,0	62,0	60,0	62,0	60,0	62,0	60,0	62,0
Totale perte (mm)	232,9	158,1	185,6	270,3	276,5	252,4	238,0	231,4	229,3

▪ Evaluation des pertes dues aux dépôts solides

Les Formules de GRESILLON modifiée ou formule de KARAMBIRI, de l'EIER-CIEH (GRESILLON) et de GOTTSCHALK ont été utilisées. Pour la suite des études la valeur moyenne des résultats obtenus par les trois méthodes est retenue. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	S (km2)	P (mm)	h	r	D (m3/km2/an)	V(m³/an)	V_r (m³)
Formule de KARAMBIRI	1014,15	798,88	0,6	0,5	117,7		
Formule de l'EIER-CIEH	1014,15	798,88			125,0		
Formule de GOTTSCHALK	1014,15				130,1		
Dégradation spécifique annuelle moyenne					127,5	129346,3	3 880 390

Des résultats de l'évaluation des dépôts solides, on note que les résultats obtenus avec les formules de l'EIER-CIEH et de GOTTSCHALK sont relativement proches. La moyenne de ces deux résultats a été considérée pour estimer le volume de dépôts solides à l'horizon du projet. Ce qui donne **129346,3 m³** de sédiment par an en moyenne soit environ **3 880 390 m³** de sédiment à l'horizon du projet correspondant à la côte 260,75 m.

▪ Evaluation des apports liquides

Méthode de Rodier

On entend par apports liquides, la quantité d'eau susceptible d'arriver à l'exutoire du barrage pendant une période considérée. L'estimation de ce volume a été faite par la méthode de RODIER. Cette méthode se fonde sur le concept de 'bassin type'.

L'ensemble des bassins expérimentaux pour lesquels des informations étaient disponibles a été classé en fonction du régime hydrologique, de la superficie du bassin, des caractéristiques et de la physiographie du terrain.

La méthode a consisté à identifier, dans le catalogue des bassins types, celui ayant les caractéristiques les plus voisines du bassin étudié pour estimer l'écoulement annuel de ce dernier. L'objectif de la méthode proposée par RODIER (1975, 1976) est de fournir, pour des bassins-versants appartenant au Sahel africain ou à la zone tropicale sèche et ne disposant d'aucune observation hydrométrique, les éléments qui permettent d'évaluer les écoulements annuels.

L'estimation du volume sur le bassin versant se fait à partir de l'équation suivante :

$$V = K_e * S * P$$

Où :

- V (m) : Volume des apports de l'année considérée ;
- S (m³) : Superficie du bassin versant ;
- P (m) : Pluviométrie considérée ;
- K_e (%) : Coefficient d'écoulement.

Le bassin versant type choisit dans notre cas est celui de Boulsa et les apports ainsi déterminés sont présentés comme suite :

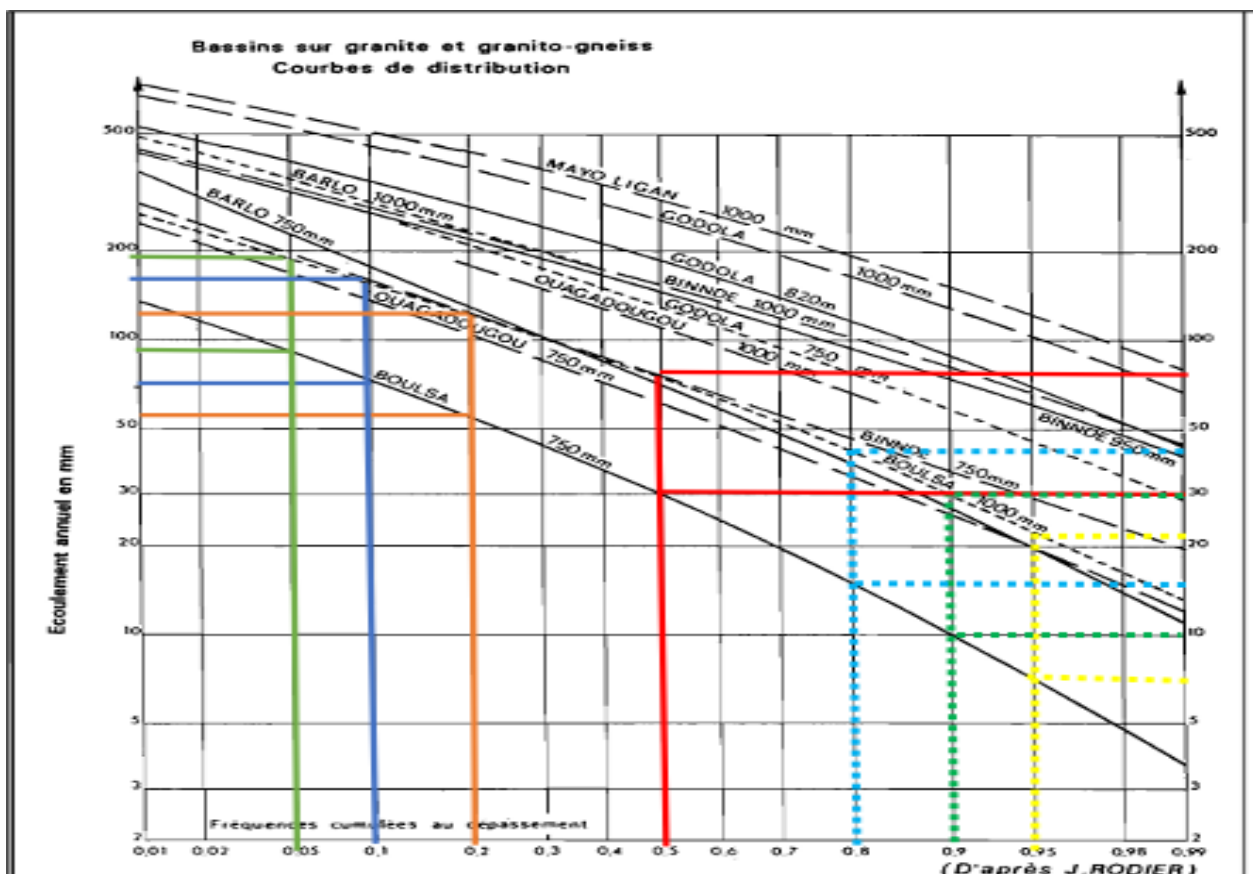


Illustration 3 : détermination des lames d'eau du bassin type

Calcul des coefficients d'écoulement du bassin de Péelé

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Durée de retour	Fréquences	Lmed750	Lmed1000	Lmed798,88	Ke calculé (%)
Vingtennale sèche	0,95	7,5	22	6,1	1,10
Décennale sèche	0,9	10	30	8,1	1,33
Quinquennale sèche	0,8	16	46	13,0	1,93
Moyenne	0,5	30	79	24,8	3,11
Quinquennale humide	0,2	51	125	42,8	4,63
Décennale humide	0,1	75	170	63,9	6,46
Vingtennale humide	0,05	90	195	77,4	7,41

Suite à la détermination des coefficients d'écoulement nous avons déterminé le volume des apports du bassin versant en période sèche calculé par la méthode de Rodier et récapitulé dans le tableau ci-dessus :

Synthèse des apports par la méthode de Rodier

Désignation	Annuelle	Quinquennale sèche	Décennale sèche
Pluviométrie (mm)	798,88	673,79	608,34
Superficie du bassin versant (Km ²)	1014,15	1014,15	1014,15
Coefficient d'écoulement Ke (%)	3,118190079	1,938817605	1,331209308
Apports liquide (m3)	25263081,85	13248408,5	8212869,349

Méthode de Coutagne

Nous avons procédé aux calculs des coefficients par la méthode de Coutagne

$$Le \text{ (mm)} = Pan \text{ (mm)} - D \text{ (mm)}$$

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

T : Température moyenne annuelle ;

$$D \text{ (m)} = Pan \text{ (m)} - \lambda \text{ Pan}^2 \text{ (m)} ; \text{ si } Pan \text{ (m)} \in$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle ;

$$\left[\frac{1}{8\lambda} ; \frac{1}{2\lambda} \right] ;$$

D : Déficit d'écoulement annuel ;

$$\text{Si } Pan < \frac{1}{8\lambda} \text{ alors } D = Pan ;$$

Le : Lane d'eau écoulée annuellement.

$$\text{Si } Pan > \frac{1}{2\lambda} \text{ alors } D = 0,2 + 0,035 \times T.$$

On définit aussi Ke, coefficient d'écoulement annuelle

$$Ke = \frac{(Pan - D)}{Pan}$$

Ce résultat est un résultat moyen, mais on doit s'assurer que la retenue se remplit aussi en année quinquennale sèche, voire décennale sèche. Il existe quelques études de corrélation qui permettent de déterminer les Ke₅ et Ke₁₀ correspondants.

Au Burkina Faso, l'ONBAH utilise les formules suivantes pour déduire le coefficient d'écoulement en année quinquennale sèche et décennale sèche du coefficient donné par la formule de Coutagne :

Ke : Coefficient d'écoulement en année moyenne ;

Ke₅ = 0,7 × Ke : Coefficient d'écoulement en année quinquennale sèche ;

Ke₁₀ = 0,5 × Ke : Coefficient d'écoulement en année décennale sèche.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Récapitulatif des résultats de calculs des coefficients par la méthode de Coutagne

DIALLO Harouna

Promotion : 2021-2022

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Période de retour	Quantiles des pluies (mm)	Temp moy (° C)	λ	$1/8\lambda$	$1/2\lambda$	Pan (m)	D (m)	Le (m)	Kei
Année médiane	798,88	29	0,21	0,61	2,43	0,8	0,67	0,13	0,16
5 ans	673,79	29	0,21	0,61	2,43	0,8	0,67	0,13	0,12
10 ans	608,34	29	0,21	0,61	2,43	0,8	0,67	0,13	0,08

Suite à la détermination des coefficients d'écoulement nous avons déterminé le volume des apports du bassin versant en période sèche calculé par la méthode de Coutagne et récapitulé dans le tableau ci-dessus :

Synthèse des apports par la méthode de Coutagne

Désignation	Annuelle	Quinquennale sèche	Décennale sèche
Pluviométrie (mm)	798,88	673,79	608,34
Superficie du bassin versant (Km²)	1014,15	1014,15	1014,15
Coefficient d'écoulement Ke (%)	16	12	8
Apports liquide (m3)	13 317 694	7 862 670	5 070 653

On note que les volumes des apports obtenus avec la méthode de Coutagne sont inférieurs à ceux de la méthode de Rodier plus proches de la réalité.

Nous optons pour les valeurs obtenues par la méthode de Rodier pour la suite de l'étude.

Simulation de l'exploitation de la retenue et courbe de niveau

Résumé besoins et pertes pour le tracé de la courbe d'exploitation de la retenue

Mois	janv.	fév.	mars	avr.	mai	Juin	oct.	nov.	déc.
Hauteur totale des	232,9	158	185,6	270	276,5	252	238	231,4	229,3

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péélé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

pertes (mm)									
Hauteur totale des pertes (m)	0,23	0,16	0,19	0,27	0,28	0,25	0,24	0,23	0,23
Besoins (milliers de m ³)	962,83	899,01	952,43	788,07	14,26	13,80	12,27	781,80	982,92

Les études topographiques ont consisté à implanter une polygonale de base dont les sommets sont matérialisés par des bornes parallélépipèdes en béton, qui suit les crêtes des deux rives et se ferme sur l'axe de la digue du barrage.

Cette opération a été conduite par le bureau d'étude BERA qui nous a fourni un fond topographique à la demande de la structure d'accueil.

Le plan topographique de la cuvette a permis par la suite de déterminer les surfaces et les volumes partiels en fonction des différentes côtes. Le volume partiel est obtenu par la méthode rigoureuse décrite ci-dessus. Ainsi, le volume total de la retenue est obtenu en faisant la somme des volumes partiels V_i . On obtient les résultats dans le tableau ci-dessous :

Données des courbes Hauteur-Surface et Hauteur-Volume

N°	Cote (m)	Superficie (ha)	Tranche (m)	Superficie moyenne (ha)	Volume partiel (m3)	Volume cumulé (m3)
1	257,0	0	0,00	0	0	0
2	257,5	4	0,50	2	11220	11220
3	258,0	13	0,50	9	43468	54688
4	258,5	57	0,50	35	174042	228730
5	259,0	92	0,50	74	370438	599168
6	259,5	144	0,50	118	587821	1186989
7	260,0	200	0,50	172	858800	2045788
8	260,5	254	0,50	227	1134131	3179919
9	261,0	302	0,50	278	1388525	4568444
10	261,5	351	0,50	326	1632373	6200817
11	262,0	403	0,50	377	1885582	8086399
12	262,5	464	0,50	433	2166887	10253286
13	263,0	525	0,50	494	2471965	12725251

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

N°	Cote (m)	Superficie (ha)	Tranche (m)	Superficie moyenne (ha)	Volume partiel (m3)	Volume cumulé (m3)
14	263,5	586	0,50	556	2778076	15503327
15	264,0	647	0,50	617	3084187	18587514
16	264,5	709	0,50	678	3390298	21977812
17	265,0	770	0,50	739	3696409	25674221

Conclusion partielle : Pour la suite des études, nous allons caler la cote du déversoir à **263 m** qui correspond à un volume de la retenue de : **$V_r = 12\,725\,251\text{ m}^3$** .

Les apports solides du bassin versant contribuent à l'envasement de la cuvette du barrage. En faisant le rapport entre le volume de la retenue et le débit des dépôts solides, la durée d'envasement de la totalité du barrage est d'environ 100 ans très supérieur à 30 ans la durée de vie souhaitée après la reconstruction du barrage.

Annexe III : Etude de la digue

❖ Nature de la digue

Compte tenu de l'insuffisance de matériaux de qualité pour la réalisation d'une digue homogène nous avons opté pour une digue à noyau.

❖ Calcul de la hauteur de la digue du barrage

La hauteur de la digue (H) est déterminée en majorant la hauteur au plan d'eau normale (PEN) de la retenue (Hn) avec la charge au-dessus du déversoir (h=1 m) et la revanche libre (R). La hauteur au PEN est la différence entre la côte de la crête du déversoir et celle du fond de la cuvette.

$$H = Hn + h + R$$

▪ Calcul de la revanche

La revanche libre (R) est une tranche comprise entre le PHE et la Crête du barrage. Le calcul de la revanche tient compte de la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau et la projection de l'eau vers le haut du barrage due à la vitesse de propagation des vagues lorsque celles-ci rencontrent le barrage. La hauteur des vagues provoquées par les vents dans la retenue dépend de la vitesse du vent, de la durée du vent, du fetch (longueur du plan d'eau exposée au vent), de la profondeur de l'eau et de la largeur du plan d'eau.

Formule de MALLET et de PAQUANT

$$R = A \left[h_v + \frac{v_v^2}{2g} \right] \text{ avec } g = 10 \text{ m/s}^2 \text{ et } h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} [f(\text{Km})^{0.5}] \text{ et } v_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} h_v$$

A : Coefficient de sécurité pris égal à 0,75

f = 6,14 km appelé « fetch » et mesuré sur le fond topographique avec le logiciel Covadis en considérant la côte du plan normale (PEN) à 263,00 m.

$$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \times (6,14)^{0,5} = 1,33 \text{ m}$$

$$v_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \times 1,33 = 2,38 \text{ m/s}$$

$$R = 0,75 \left[1,33 + \frac{2,38^2}{2 \times 10} \right]. \text{ Ce qui donne : } R = 1,2 \text{ m}$$

Formule de GAILLARD

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

$$V = 1,5 + 2h$$

Où :

V = vitesse de propagation des vagues [m/s] ;

h = hauteur des vagues[m].

En prenant $h = 1,33$ m, on a :

$$V = 1,5 + 2 \times 1,33$$

$$V = 4,16 \text{ m}$$

La revanche est de :

$$R = 0,75 h + V^2 / 2g$$

$$R = 0,75 \times 1,33 + (4,16)^2 / (2 \times 9,81)$$

$$R = 1,88 \text{ m}$$

Ces résultats étant théoriques, il est à noter que pour les petits barrages une revanche comprise entre 0,5 et 1 m est une valeur raisonnable.

Nous prendrons $R = 1\text{m}$

Calcul de la hauteur de la digue (Côte de calage de la crête)

$$\text{Côte}_{\text{digue}} = \text{Côte}_{\text{déversoir}} + h + R = 263 + 1 + 1$$

$$\text{Côte}_{\text{digue}} = 265 \text{ m}$$

La côte du terrain naturel (TN) étant de 258,25 m, on calcul :

$$H_{\text{max,digue}} = \text{Côte}_{\text{digue}} - \text{Côte}_{\text{TN}} = 265 - 254,25$$

$$H_{\text{max,digue}} = 6,75 \text{ m}$$

Calcul de la largeur en crête de la digue

La largeur en crête doit être suffisante pour autoriser la circulation d'engins pour la finition de l'ouvrage et ultérieurement pour son entretien. En pratique, la largeur en crête (l_c) est supérieure à 3 mètres. La largeur en crête est calculée avec les formules suivantes :

Pour des digues de hauteur supérieure à 3 m, on adopte souvent :

DIALLO Harouna

Promotion : 2021-2022

$$l_c = \frac{1}{3} \times H_{\max, \text{digue}} = \frac{1}{3} \times 6,75 = 2,25 \text{ m}$$

Formule de KNAPPEN

$$l_c = 1,65 \times H_{\max, \text{digue}}^{\frac{1}{2}} = 1,65 \times 6,75^{0,5} = 4,29 \text{ m}$$

Formule de PREECE

$$l_c (\text{m}) = 1,1 \times H_{\max, \text{digue}}^{\frac{1}{2}} + 1 = 1,1 \times 6,75^{0,5} + 1 = 3,86 \text{ m}$$

Autres formules

$$l_c = 3,6 \times H_{\max, \text{digue}}^{\frac{1}{3}} - 3 = 3,6 \times 6,75^{\frac{1}{3}} - 3 = 3,80 \text{ m}$$

Des quatre résultats, nous avons une moyenne de 3,55 m. Ainsi, on retient comme largeur de crête soit 4 m.

Géométrie du noyau

Le noyau est implanté en position centrale et ses caractéristiques sont les suivantes :

Hauteur $H = 5,75$ m équivalente à la hauteur au niveau du PHE ;

Largeur au sommet (l) est égale à 4 m ;

Largeur à la base (L) est égale à 9 m pour tenir de la hauteur de charge (H) et de la perméabilité du matériau constitutif du noyau.

Pentes des talus

Pour ce projet nous allons adopter en talus amont $1V/2H$ et aval de pente de $1V/2,5H$ car la hauteur de la digue est de 6,75 m comprise entre 5 et 10 m et à zones.

Calcul de la largeur en base l_b

$$l_b = l_c + (m_1 + m_2) \times H$$

$$l_b = (2 + 2,5) \times 6,75 + 4 = 34,38 \text{ m}$$

Nous retiendrons $l_b = 34,5 \text{ m}$

Récapitulatif des éléments principaux de conception

Désignation	Valeurs
-------------	---------

Revanche libre	1 m
Charge au-dessus du déversoir	1 m
Largeur en crête de la digue l_c	4,00 m
Pente talus amont	2H/1V
Pente talus aval	2,5H/1V
Hauteur de la digue H	6,75 m
Largeur de la fondation L_f	34,5 m
Angle au pied du talus	$26,57^\circ$

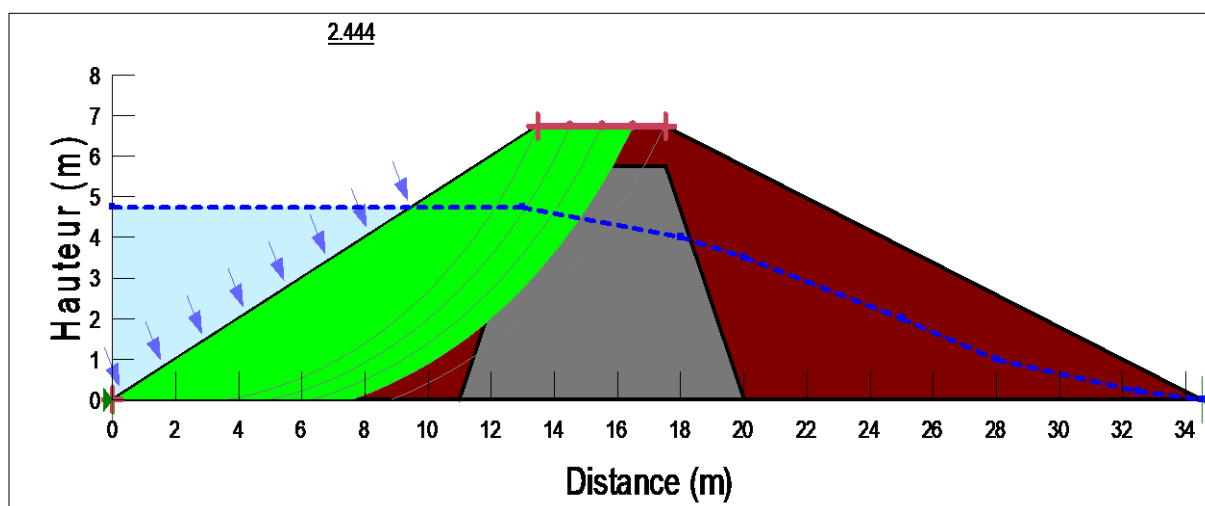
Dimensionnement de la digue du barrage

Etude de la stabilité des pentes

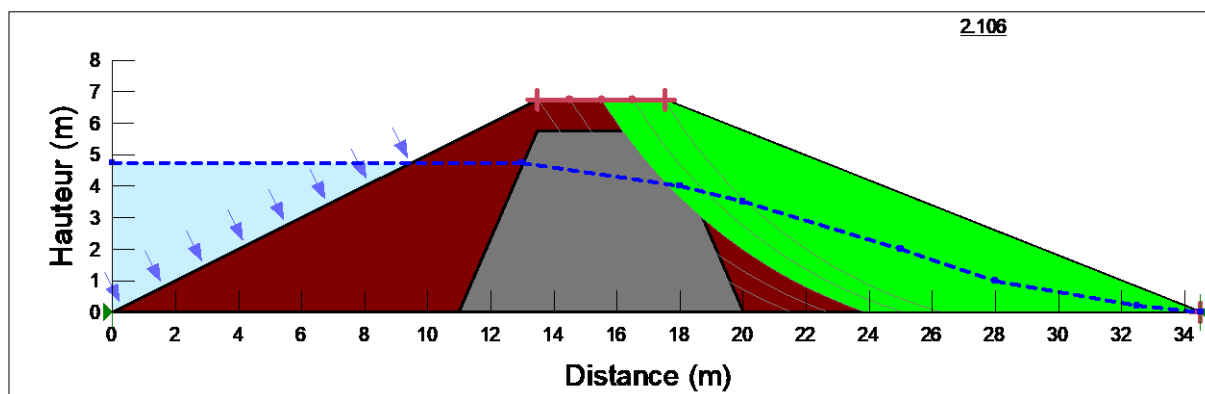
En utilisant la méthode de résolution de la stabilité des talus par la méthode de Bishop sur le logiciel GEOSLOPE nous avons obtenu un facteur de sécurité de Bishop de $F_s = 2,44$ pour le talus amont et 2,11 pour le talus aval tous supérieurs à 1,5.

Les résultats des simulations sont fournis par les figures ci-dessous :

Talus amont



Talus aval



Protection des talus

Les talus amont et aval seront protégés par des moellons latéritiques non maçonnés (perré sec).

- Epaisseur de la couche de protection

$$e = 1,5 \times D_{50} \text{ avec } D_{50} = f(h_v)$$

Le tableau suivant nous donne les valeurs de D_{50} en fonction de la hauteur des vagues h_v calculée plus haut ($h_v = 1,33$ m).

h_v (m)	[0 ; 0,3]	[0,3 ; 0,6]	[0,6 ; 1,2]	[1,2 ; 1,8]	[1,8 ; 2,4]
D_{50} (m)	0,20	0,25	0,30	0,40	0,45

On a $h_v = 1,33$ m dans l'intervalle [1,2 ; 1,8] qui correspond à $D_{50} = 0,4$ m dans le tableau ci-dessus.

$$\text{Donc } e = 1,5 \times 0,4 ; e = 0,6 \text{ m}$$

- Poids des enrochements

Formule de Hudson :

$$P = \frac{\rho \times e^3}{[K_p \times \cotan(\alpha)] \times [d - 1]^3}$$

K_p = Coefficient de dégâts pris égale à 5 ;

$\alpha = 26,57^\circ$ est l'angle au pied du talus ;

d = Densité du matériau

ρ = Masse volumique des moellons latéritiques.

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

$$P = \frac{2500 \times 0,6^3}{[5 \times 2][2,5 - 1]^3} \text{ ainsi } P = 16 \text{ kg}$$

Estimation du débit de fuite

On applique la loi de Darcy : $q = k_r i A$

La section A est mesurée par l'ordonnée y de la ligne phréatique et le gradient hydraulique i par sa pente dy/dx .

$$q = K_r \times \frac{dy}{dx} \times y$$

L'intégration donne : $y^2 = y_0^2 + \frac{2q}{k_r} x$

En se référant à l'équation de la parabole de KOZENY : $y^2 = 2 \times x \times y_0 + y_0^2$

On peut poser :

$$\frac{q}{K_r} = y_0 \text{ D'où } q = K_r \times y_0 = K_r [\sqrt{d^2 + h^2} - d]$$

Nous avons $\alpha < 30^\circ$, le débit de fuite est estimé par la formule suivante :

$$q = K_r \times y_0 \times \sin^2 \alpha$$

avec $K_r = 4,25 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$

Déterminons y_0 en utilisant avec la formule ci-dessous :

$y_0 = (H^2 + d^2)^{0.5} - (d^2 + h^2 \cotan^2 \alpha)$ et $H = 6,75 \text{ m}$ au droit où la hauteur de la digue est maximale.

Calcul du paramètre b

$$b = \frac{Hn}{m} \text{ avec } H_n = 4,75 \text{ m et } m=3 \text{ et } b=1,58 \text{ m}$$

$$d = l_{\text{noyau}} - 0.7 \times b \text{ or } l_{\text{noyau}} = 4 + \frac{2}{3} \times H_{\text{noyau}}$$

$$l_{\text{noyau}} = 4 + \frac{2}{3} \times 5,75$$

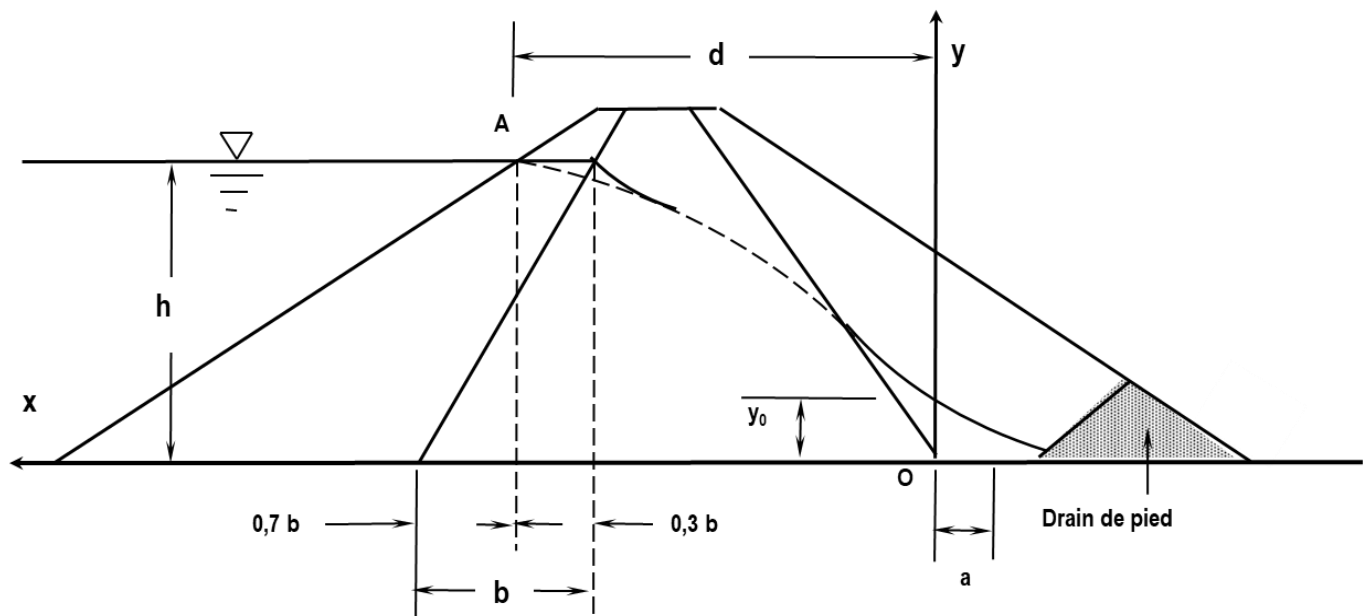
$l_{\text{noyau}} = 7,83 \text{ m}$ Ainsi, nous retiendrons $l_{\text{noyau}} = 9 \text{ m}$

$$d = 9,37 - 0,7 \times 1,58 \rightarrow d = 8,3 \text{ m}$$

$$y_0 = (6,75^2 + 8,3^2)^{0,5} - (8,3^2 + 4,75^2 \cotan^2(18,43))^{0,5} \rightarrow y_0 = 2,25 \text{ m}$$

$$q = 4,25 \times 10^{-9} \times 2,25 \times \sin^2(18,43) = 9,56 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$$

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



On utilisera un drain de pied

Protection crête de la digue

La crête de la digue sera protégée par un revêtement latéritique d'épaisseur 20 cm et des murets parapets de 0,5m*0,5m.

Annexe IV : Etude du déversoir - bassin de dissipation – chenal d'évacuation – bajoyers

Etude du déversoir

❖ Laminage de crue

Deux méthodes ont été utilisées pour le laminage de crue, il s'agit de la :

- Méthode de l'équation de continuité : Abaques

Nous avons fixé une hauteur déversante Z_e et calculer les rapports suivants :

$\frac{A \times Z_e}{Q_c \times T_m}$ et $\frac{Z_e}{a}$ et on lit le rapport $\frac{Q_e}{Q_c}$ sur un abaque.

T_m : temps de montée(s)

A : surface du plan d'eau à la cote de déversement en m^2

a : hauteur au-dessus du seuil tel qu'à cette hauteur la surface du plan d'eau passe à $2A$ en m

Q_e : Débit à évacuer en m^3/s

Q_c : Débit de projet calculé plus haut en m^3/s

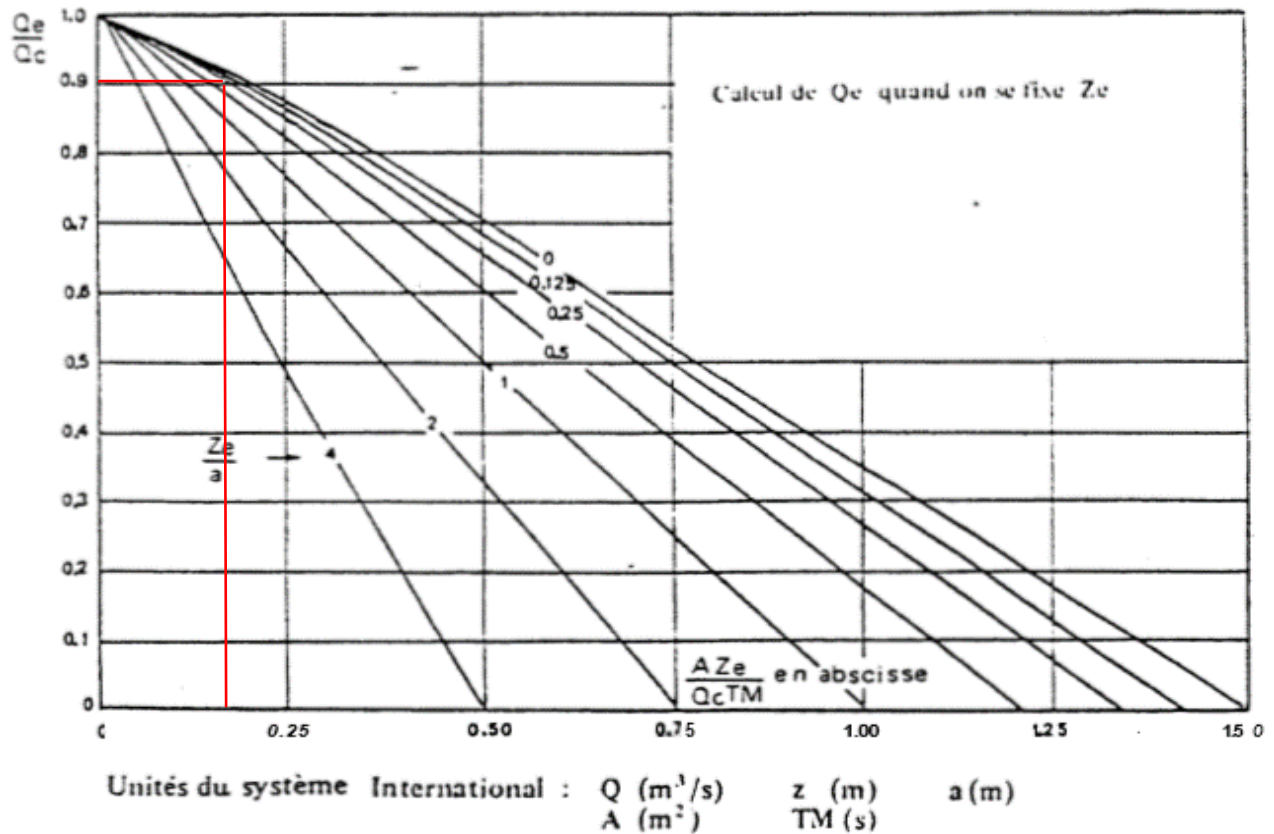
Le déversoir en béton admet à titre indicatif des charges maximales comprise entre 0,7 et 1m voire 1,2 à 1,5 m si la réalisation est soignée et le profil étudié (J.M DURAND, 1996). Ainsi, nous retenons une charge admissible de 1 m au-dessus du seuil.

En considérant le déversoir en fonctionnement dénoyé, les paramètres sont :

Récapitulatif du laminage par la méthode de continuité

Paramètres	Valeurs	Z_e/a	$(A \times Z_e)/(Q_c \times T_m)$	Q_e/Q_c lu	$Q_e (m^3/s)$
T_m (s)	72592,8	0,26	0,18	0,92	464,6
A (m^2)	6474485,00				
a (m)	3,8				
M	0,41				
$Z_e = h$ (m)	1				
Q_c (m^3/s)	505				

Les projections pour la détermination de la valeur de Q_e/Q_c lu sont illustrées dans la figure ci-dessous :



Avec le débit de pointe de la crue laminée Q_e on a :

$$Q_e = m L \sqrt{2g} \times h^{3/2} \text{ et on déduit que } L = \frac{Q}{m^* \sqrt{2g} * h^{3/2}}$$

$$L = \frac{454}{0,41 \times \sqrt{2 \times 10} \times (1)^{1,5}}$$

$$L = 247,60 \text{ m}$$

- Méthode du coefficient « X_0 » ou méthode EIER-CIEH

Données de calcul :

Données	
M	0,41
g	10
tm(s)	72600,00
s(m2)	6474485,00
h(m)	1

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

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

$$L_1 = \frac{\beta_1 Q_{cmax}}{m \sqrt{2g} h^{3/2}} \text{ avec } \beta_1 = 1 \text{ soit } L_1 = \frac{1 \times 505}{0,41 \times \sqrt{2 \times 10} \times 1(1)^{3/2}}$$

$$L_1 = 275,42 \text{ m}$$

$$X_{01} = \frac{m^2 \times g \times L_1^2 \times Q_{cmax} \times T_m^3}{S^3} \text{ avec } Q_{cmax} = Q_P = 505 \text{ m}^3/\text{s} \text{ soit}$$

$$X_{01} = \frac{0,41^2 \times 10 \times 275,42^2 \times 505 \times 72592,80^3}{6474485,00^3} = 90,76$$

$\log_{10}(90,76) = 1,96 \Rightarrow \beta_2 = 89\%$ (coefficient de laminage déterminé à partir l'abaque illustration 4 ci-dessous).

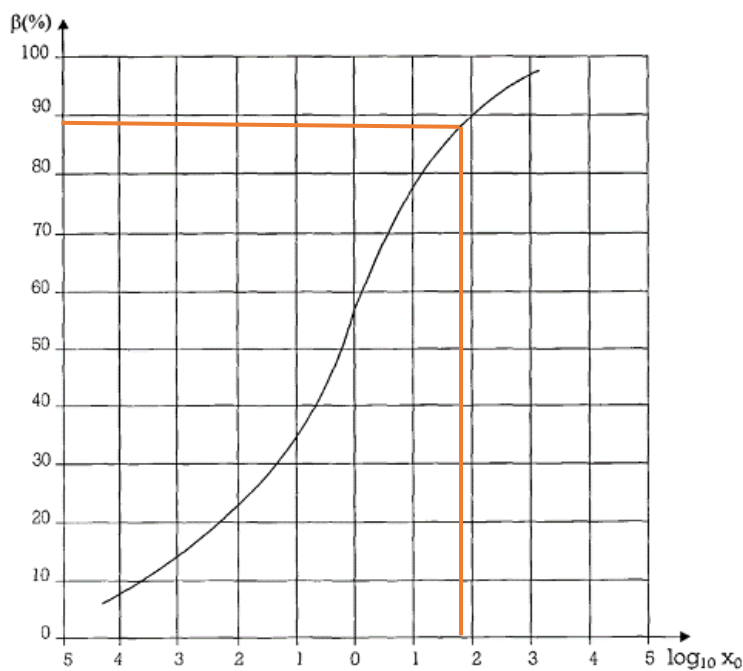


Illustration 4 : Abaque de lecture de β en fonction de $\log_{10}(X_0)$: (Source : Harouna KARAMBIRI et Ismaïla GUEYE, Cours de Petits barrages en terre, 2006-2007)

$$Q_{emax1} = \beta_2 \times Q_{cmax} = 0,89 \times 505$$

$$Q_{emax1} = 449,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

Par itérations successives, on aboutit aux résultats consignés dans le tableau ci-dessous :

Récapitulatifs des résultats obtenus par la méthode dite de "X0"

L	X0	Log10(X0)	B	Qe (m3/s)
			1,00	505,00
275,42	90,79	1,958	0,89	505,00
245,12	71,915	1,857	0,89	449,45
243,75	71,109	1,852	0,89	446,93
245,12	71,915	1,857	0,89	449,45

Conclusion partielle : Les deux méthodes donnent des résultats sensiblement identiques avec $L=247,60$ m pour la méthode des abaques et $L=245,12$ m pour la méthode dite de « X0 ». Nous avons préféré tenir compte de la méthode dite de « X0 ». En effet, elle donne une longueur plus économique et une marge de laminage plus élevée. Pour tenir compte des changements climatiques dont les effets se matérialisent, ces dernières décennies par des événements pluvieux exceptionnels (Pluie du 1 Septembre 2009 sur Ouagadougou) et pour des raisons d'amélioration de la sécurité des investissements dans la zone du Projet, nous retiendrons une longueur du déversoir $L=250$ m donnant un débit laminé de $454 \text{ m}^3/\text{s}$ soit 89 % du débit de projet.

Conception des éléments principaux du déversoir

Données pour le calcul de stabilité du déversoir

Déversoir central	Forme trapézoïdale réalisé en béton cyclopéen dosé à 300 kg/m^3
Longueur du déversoir	$L=250,00$ m, composée de 25 plots de 10 m. Les plots extrêmes étant solidaires aux murs bajoyers. Joint WATERSTOP entre les plots.
Lame d'eau déversante h	1 m
Fondation	Roche homogène et isotrope sans fissuration
Hauteur du déversoir (H_d)	4,75 m
Largeur en crête du déversoir (l_d)	1,00 m
$\gamma_{\text{séd.}}$	18 KN/m^3
Hauteur des sédiments ($h_{\text{séd.}}$)	1,50 m

γ_b	24 KN/m ³
Résistance à la compression du béton en 28 jours (f_{c28})	20 MPa
Nature des sédiments	Sable
Déversoir central	Forme trapézoïdale réalisé en béton cyclopéen dosé à 300 kg/m ³
K_a	1/3
$\tan(\phi)$	0,65

Etude de la stabilité du déversoir

La vérification de la stabilité a été faite au PHE sur la base des dimensions hors sol de l'ouvrage (fondation non prise en compte). Les forces agissant sur le déversoir sont représentées par l'illustration 5.

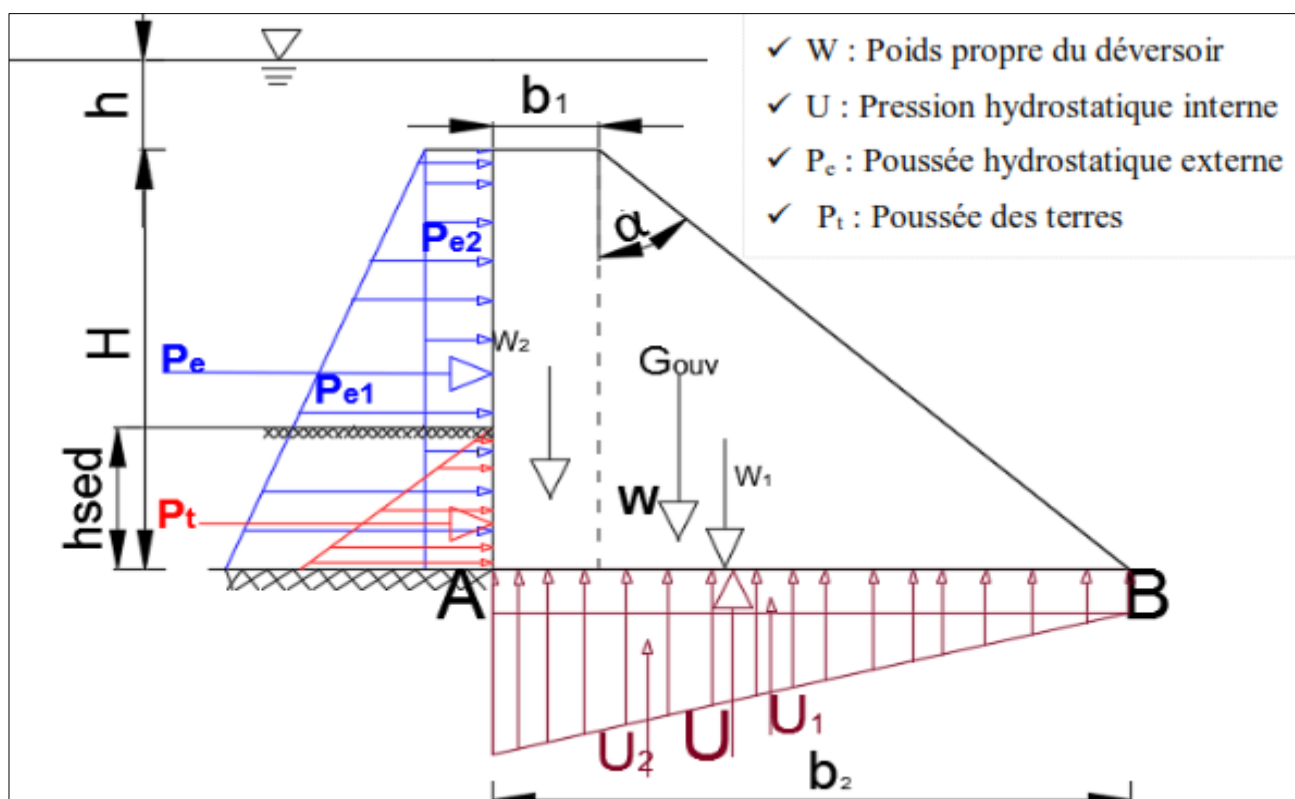


Illustration 5: représentation des forces agissant sur le déversoir

▪ Etude de la stabilité externe

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

Vérification de la stabilité au non glissement

La stabilité au glissement est assurée si et seulement si : $\sum F_{poussées} \leq \sum F_{résistantes\ aux\ poussées}$

$$\text{Soit } F_G = \frac{(W-U) \times \tan(\phi)}{P_e + P_t} \geq 1,2$$

Evaluation des forces agissant sur l'ouvrage

Poussée hydrostatique externe en amont du déversoir (P_e)

$$P_e = P_{e1} + P_{e2}$$

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

$$P_e = \frac{1}{2} \times 10 \times H^2 + 10 \times H \times 1$$

$$P_e = 5H^2 + 10H$$

Poussée des terres P_t

$$P_t = \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{séd.}} \times h_{\text{séd.}}^2 \times K_a \text{ avec } K_a = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) = 1/3$$

$$P_t = \frac{1}{2} \times 18 \times 1,5^2 \times \frac{1}{3}$$

$$P_t = 6,75 \text{ kN/m}$$

Pression hydrostatique interne (U)

Ici, nous sommes dans le diagramme C : U_A

$$U = \frac{U_A + U_B}{2} \times b_2 \text{ Avec } b_2 = 1 + H \times \tan(\alpha)$$

$$\text{Or } U_A = \gamma_w \times (h + \frac{2}{3}H) \text{ et } U_B = \gamma_w \times h$$

$$U = \frac{1}{2} \left((20 + \frac{20}{3}H)(1 + H \tan(\alpha)) \right)$$

$$U = \frac{1}{2} \left((\frac{20H+60}{3})(1 + H \tan(\alpha)) \right)$$

$$U = (\frac{10H + 30}{3})(1 + H \tan(\alpha))$$

$$U = \frac{10H + 30}{3} + \left(\frac{10H^2 + 30H}{3}\right)\tan(\alpha)$$

Poids propre du déversoir (W)

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

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

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

Calculons le facteur au non glissement F_g

$$F_g = \frac{(W - U) \times \tan(\phi)}{P_e + P_t} \geq 1,2$$

Déterminons les paramètres ci-dessous :

$$W - U = 24H + 12H^2 \tan(\alpha) - \frac{10H + 30}{3} - \left(\frac{10H^2 + 30H}{3}\right)\tan(\alpha)$$

$$W - U = \frac{62H}{3} - 10 + \left(\frac{26H^2 - 30H}{3}\right)\tan(\alpha)$$

$$P_e + P_t = 5H^2 + 10H + 6,75$$

D'où :

$$\left(\frac{62H}{3} - 10 + \left(\frac{26H^2 - 30H}{3}\right)\tan(\alpha)\right) \times 0,65 \geq 1,2 \times (5H^2 + 10H + 6,75)$$

Ce qui donne après réduction :

$$\alpha \geq \tan^{-1} \left(\frac{6H^2 - \frac{43}{30}H + 14,6}{16,9H^2 - 19,5H} \times 3 \right)$$

Avec $H = 4,75$ m, on a $\alpha \geq 56,09^\circ$

Ainsi, nous retenons $\alpha = 60^\circ$

Vérification de la stabilité au non renversement

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

Calcul des moments par rapport au point B

Calcul du moment du poids propre W par rapport au point B

$$M_B(W) = M_B(W_1) + M_B(W_2) \text{ or } M_B(W_1) = W_1 \times d_1 \text{ et } M_B(W_2) = W_2 \times d_2$$

Avec :

$$W_1 = 24 H \text{ et } d_1 = 0,5 + H \tan(\alpha)$$

$$W_2 = 12H^2 \tan(\alpha) \text{ et } d_2 = \frac{2}{3}H \tan(\alpha)$$

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

Calcul du moment de P_e par rapport au point B

$$M_B(P_e) = P_{e1} \times \frac{1}{3} \times H + P_{e2} \times \frac{1}{2}H$$

Avec :

$$P_{e1} = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times H^2 \text{ et } P_{e2} = \gamma_w \times H \times h$$

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

Calcul du moment de P_t par rapport au point B

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

$$M_B(P_t) = 3,38 \text{ kN/m}$$

Calcul du moment de U par rapport au point B

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

$$M_B(U) = \frac{1}{2} \times \gamma_w(H + h) \times (1 + H \tan(\alpha))^2 - \frac{1}{6} \times \gamma_w H \times (1 + H \tan(\alpha))^2$$

$$M_B(U) = \left(\frac{10}{3} H^3 + 5H^2 \right) \tan^2(\alpha) + \left(\frac{20}{3} H^2 + 10H \right) \tan(\alpha) + \frac{10}{3} H + 5$$

Calcul du $M_B(W - U)$

$$M_B(W - U) = 8H^3 \tan^2(\alpha) + 12H + 24H^2 \tan(\alpha) - \left(\frac{10}{3}H^3 + 5H^2\right) \tan^2(\alpha) - \left(\frac{20}{3}H^2 + 10H\right) \tan(\alpha) - \frac{10}{3}H - 5$$

$$M_B(W - U) = \left(\frac{14}{3}H^3 - 5H^2\right) \tan^2(\alpha) + \left(\frac{52}{3}H^2 - 10H\right) \tan(\alpha) + \frac{26}{3}H - 5$$

Calcul de $M_B(P_e + P_t)$

$$M_B(P_e + P_t) = \frac{5}{3}H^3 + 5H^2 + 3,38$$

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

$$\left(\frac{14}{3}H^3 - 5H^2\right) \tan^2(\alpha) + \left(\frac{52}{3}H^2 - 10H\right) \tan(\alpha) + \frac{26}{3}H - 5 - \frac{5}{2}H^3 - 7,5H^2 - 5,07 \geq 0$$

Si on pose $X = \tan(\alpha)$, on obtient à une inéquation de la forme : $K_1 \cdot X^2 + K_2 \cdot X + K_3 \geq 0$. La résolution de cette inéquation avec $H = 4,75$ m donne : $\alpha \geq 33,91^\circ$.

Pour la stabilité externe (glissement et renversement), nous allons prendre une valeur de $\alpha = 60^\circ$ car avec cette valeur $F_G = 1,34 > 1,2$ et $F_R = 6,08 > 1,5$.

Etude de la stabilité interne

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

Vérification de la non fissuration

La non fissuration est vérifiée si :

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

$$b_2 = 1 + H \times \tan(\alpha) = 1 + 4,75 \tan(60) = 9,23 \text{ m}$$

Déterminons les coordonnées du centre de gravité de l'ouvrage

Soit X_G et Y_G ces coordonnées :

$$X_G = \frac{X_{G1} \times S_1 + X_{G2} \times S_2}{S_1 + S_2}$$

$$X_G = \frac{0,5 \times H + (1 + \frac{H \times \tan(\alpha)}{3}) \times \frac{H^2 \tan(\alpha)}{2}}{H + \frac{H^2}{2} \tan(\alpha)}$$

$$X_G = \frac{0,5 \times 4,75 + (1 + \frac{4,75 \times \tan(60)}{3}) \times \frac{4,75^2 \tan(60)}{2}}{4,75 + \frac{4,75^2}{2} \tan(60)}$$

$$X_G = 3,11$$

$$Y_G = \frac{Y_{G1} \times S_1 + Y_{G2} \times S_2}{S_1 + S_2}$$

$$Y_G = \frac{0,5 \times H^2 + \frac{H}{3} \times \frac{H^2 \tan(\alpha)}{2}}{H + \frac{H^2}{2} \tan(\alpha)}$$

$$Y_G = \frac{0,5 \times 4,75^2 + \frac{4,75}{3} \times \frac{4,75^2 \tan(60)}{2}}{4,75 + \frac{4,75^2}{2} \tan(60)}$$

$$Y_G = 1,74$$

$$W - U = \frac{62H}{3} - 10 + (\frac{26H^2 - 30H}{3}) \tan(\alpha)$$

$$W - U = 344,58 \text{ KN/ml}$$

$$P_e + P_t = 5H^2 + 10H + 6,75$$

$$P_e + P_t = 167,06 \text{ kN/ml}$$

$$e = 3,11 + 1,74 \times \frac{167,06}{344,58} - \frac{9,23}{2}$$

$$e = -0,66 \text{ m or } \frac{b_2}{6} = 1,54 \text{ m}$$

On remarque que : $|e| < \frac{b_2}{6} = 1,54 \text{ m}$. Donc la non fissuration est vérifiée.

Vérification de la non rupture

La non rupture est vérifiée si $\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{lim}, \text{béton}}$ avec

$$\sigma_{\max} = \left(\frac{W - U}{b_2} \right) \times \left(1 + \frac{6 \times |e|}{b_2} \right) = \left(\frac{344,58}{9,23} \right) \times \left(1 + \frac{6 \times 0,66}{9,23} \right) = 0,05335 \text{ MPa}$$

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

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

Conclusion : En considérant un angle α qui vaut 60° les stabilités externes (glissement et renversement) et interne (fissuration et rupture) sont vérifiées.

Le poids du mètre linéaire de déversoir

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

$$W = 24 \times 4,75 + 12 \times 4,75^2 \tan(60) = 582,95 \text{ kN/m}$$

$$W = 582,75 \text{ kN/ml}$$

Etude du bassin de dissipation

Calcul des profondeurs normale et critique dans le chenal d'évacuation

La profondeur normale est calculée avec la formule de Manning Strickler

$$Q_e = K_s \times \sqrt{I} \times \frac{(y_n \times L)^{\frac{5}{3}}}{(L + 2 \times m \times y_n)^{\frac{2}{3}}}$$

Q_e : débit à évacuer après laminage : $454 \text{ m}^3/\text{s}$;

y_n : Tirant d'eau normal (Profondeur normale) en m ;

I : Pente longitudinale du chenal d'évacuation : 0,005;

m : Fruit de berges égal à 1 (section rectangulaire) ;

L : Largeur au plafond du chenal d'évacuation 250 m

K_s : Coefficient de rugosité de Manning Strickler, pris égal à 60

En utilisant la méthode de la débitance résolut avec le solveur de Excel, on a : $y_n = 0,6 \text{ m}$

Méthode de la débitance : $\frac{Q_e}{\sqrt{I}} = K_s \cdot \sqrt[3]{\frac{S^5}{P^2}}$ avec $S = L \times y_n$ et $P = L + 2 \times y_n$

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

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

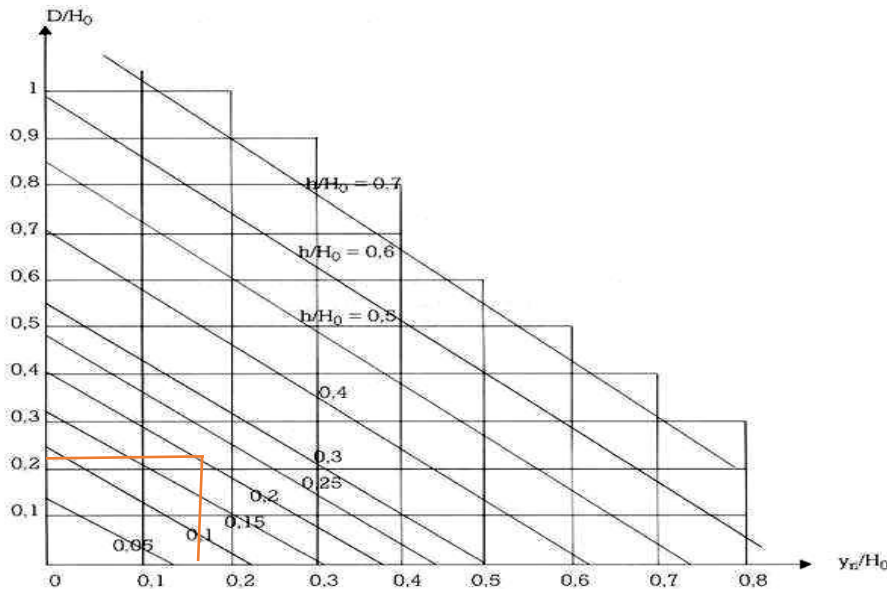
On obtient $y_c = 0,69 \text{ m}$

Conclusion : y_c est supérieur à y_n . On a donc un écoulement torrentiel.

Calcul de l'enfoncement D du bassin de dissipation

On calcule les rapports : $\frac{y_n}{H_0} = \frac{0,6}{4,75} = 0,13$ et $\frac{h}{H_0} = \frac{1}{4,75} = 0,21$

Les conditions $0,05 \leq \frac{h}{H_0} \leq 0,7$ et $0,1 \leq \frac{y_n}{H_0} \leq 0,8$ étant remplies, l'abaque ci-dessus nous permet de lire le rapport $\frac{D}{H_0}$ en fonction de $\frac{h}{H_0}$ et $\frac{y_n}{H_0}$



On déduit $D = 0,23 \times H_0 = 0,23 \times 4,75 = 1,093 \text{ m}$. Nous retenons un enfoncement $D = 1,1 \text{ m}$.

Détermination du type de bassin de dissipation et sa longueur

Calcul de la vitesse V_0 de l'eau sur le seuil du déversoir

$$V_0 = \frac{Q}{L \times h} = \frac{454}{250 \times 1} = 1,82 \text{ m/s}$$

$$V_0 = 1,82 \text{ m/s}$$

✓ Hauteur H

$$H = D + H_0 = 1,1 + 4,75 = 5,85 \text{ m}$$

✓ Détermination de V et y_1

La vitesse d'entrée V dans le bassin de dissipation est fonction du tirant d'eau avant le ressaut y_1 .
Les deux paramètres seront déterminés par résolution avec solveur Excel à partir des deux égalités suivantes.

$$\text{Formule de BERNOULLI : } V = \sqrt{2g \times (0.9 \left(H + h + \frac{V_0^2}{2g} \right) - y_1)} \text{ et } V = \frac{q}{y_1}$$

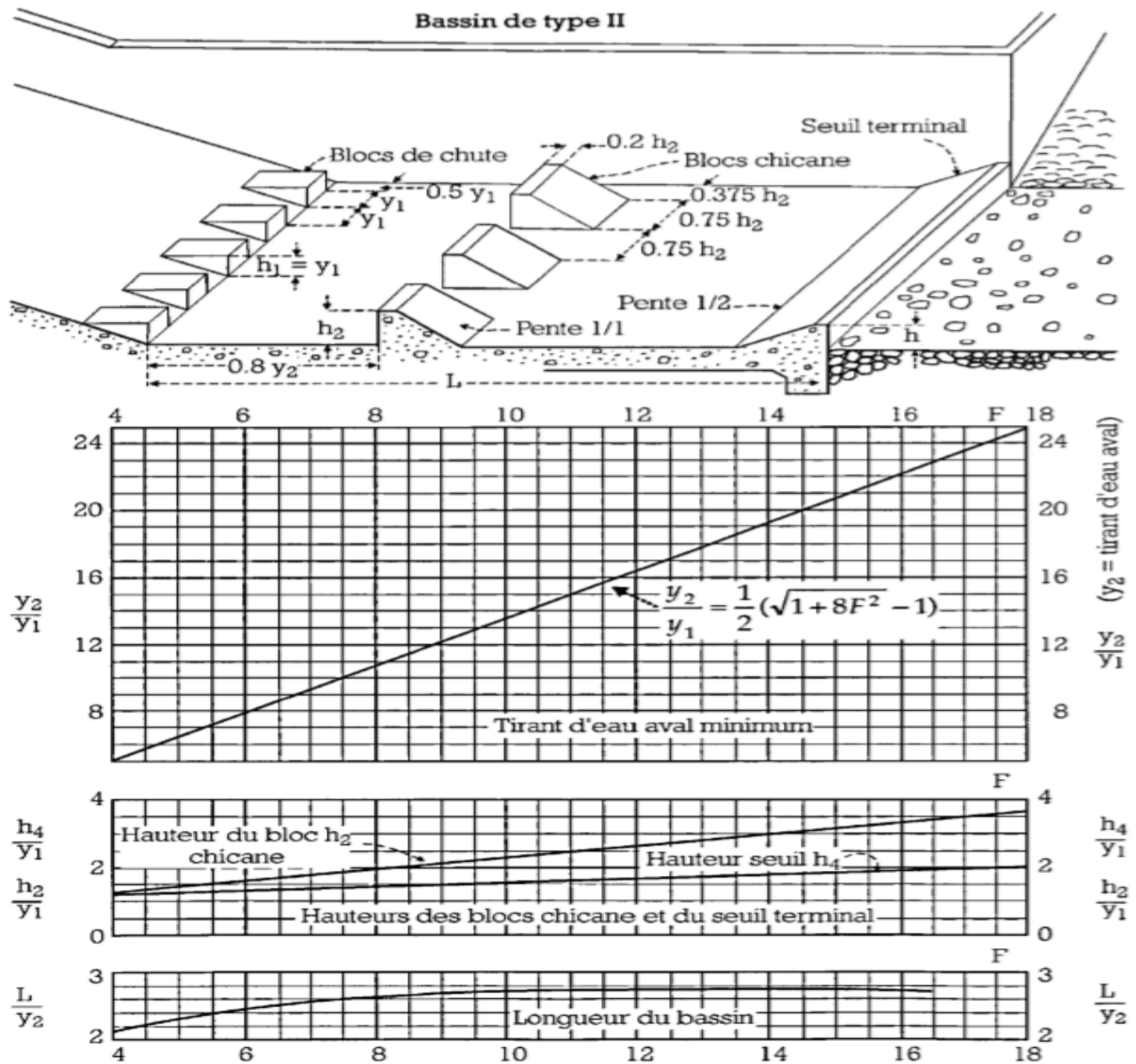
On aboutit à : $y_1 = 0,17 \text{ m}$ et $V = 10,68 \text{ m/s}$

✓ Détermination du nombre de Fraude F

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy_1}} = \frac{10,68}{\sqrt{10 \times 0,14}} = 8,19$$

Conclusion :

$F = 8,19 > 4,5$ et $V = 10,68 \text{ m/s} < 15 \text{ m/s}$. On considère un bassin de dissipation de type II USBR



✓ Détermination du tirant d'eau après le ressaut y_2
 y_2 sera déterminé à partir du calcul du ratio : y_2/y_1

$$\frac{y_2}{y_1} = 0,5 \left(\sqrt{1 + 8 \times F^2} - 1 \right) = 11,09 \text{ soit } y_2 = 1,88 \text{ m}$$

Nous retenons $y_2 = 1,88 \text{ m}$

✓ Détermination de la longueur L_b du bassin de dissipation
 L_b sera déterminée par la lecture sur un abaque du ratio en fonction du nombre de Froude : $\frac{L_b}{y_2} = 2,65$

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Longueur du bassin de dissipation					Type de bassin de dissipation
F	y ₂ (m)	L _b /y ₂	L _b (m)	L _b retenue (m)	Type II USBR
8,19	1,88	2,65	4,98	5,00	

NB : $\frac{L_b}{y_2}$ est déterminé à partir de l'abaque ci-dessus.

✓ Les blocs chicanes

Largeur : $l_2 = 0,75 \times h_2$, espacement $e_2 = 0,75 \times h_2$ et épaisseur en crête : $b_2 = 0,20 \times h_2$

Les blocs chicanes							
F	y ₁	h ₂ /y ₁	Pente	Hauteur h ₂ (m)	Largeur (m)	Espacement (m)	Épaisseur (m)
8,19	0,17	2	V/H=1/1	0,35	0,26	0,26	0,07

NB : $\frac{h_2}{y_1}$ est déterminé à partir de l'abaque ci-dessus.

✓ Les blocs de chute

Les blocs de chute (abaque)			
F	Hauteur h ₁ = y ₁ (m)	Largeur (m)	Espacement (m)
8,19	0,17	0,17	0,17

✓ Seuil terminal

Seuil terminal du bassin				
F	y ₁ (m)	h ₄ /y ₁	Pente	Hauteur h ₄ (m)
8,19	0,17	1,5	2H/1V	0,26

NB : $\frac{h_4}{y_1}$ est déterminé à partir de l'abaque ci-dessus :

Récapitulatif du dimensionnement

DIALLO Harouna

Promotion : 2021-2022

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Bassin de dissipation		
Lame d'eau au-dessus du déversoir	h (m)	1
Hauteur maximale de l'eau au droit du déversoir	H (m)	4,75
Enfoncement du bassin	D (m)	1,1
Débit de crue laminé	Q (m ³ /s)	454,00
Débit unitaire	Q (m ³ /s/ml)	1,82
Hauteur de chute	Z (m)	7,01
Tirant d'eau normal	Y _n (m)	0,6
Vitesse de l'eau à l'entrée du bassin	V ₁ (m/s)	10,68
Froude	Fr	8,19
Type de bassin	Type	Bassin de type II
Longueur du bassin	L (m)	5
Hauteur du seuil terminal	h ₄ (m)	0,26
Hauteur des blocs de chicanes	h ₂ (m)	0,35
Hauteur des blocs de chutes	h ₁ (m)	0,17
Distance blocs chicanes-blocs de chutes	e ₁ (m)	1,50
Chenal d'évacuation		
Pente	(%)	0,2
Profondeur	(m)	0,6
Largeur en plafond	(m)	250,00
Débit maximal	Q (m ³ /s)	454,00

 Etude des murs bajoyers

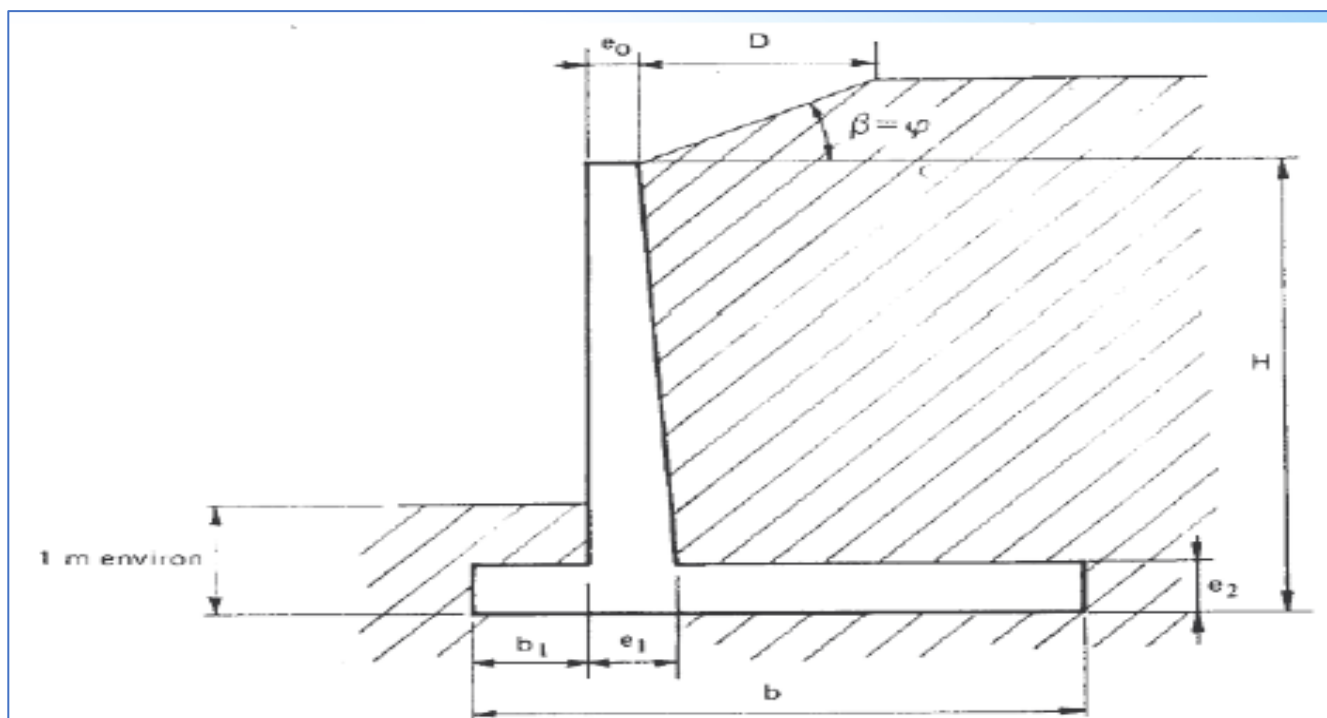
Désignations	Valeurs
Poids volumique du béton γ_b (KN/m ³)	25
Poids volumique de l'argile plastique γ_{ar} (KN/m ³)	18
Cohésion de l'argile plastique (argile molle)	19
Angle de frottement interne	17°
Coefficient de poussée active k_a	0,33
Contrainte admissible du sol q_{adm} (bar)	2,0

Prédimensionnement du mur

La hauteur maximale de la digue vaut 6,75 m. En intégrant l'ancrage du mur on prendra une hauteur du mur de soutènement égale à 7,85 m.

DIALLO Harouna

Promotion : 2021-2022



$$e_0 = \frac{H}{24} = \frac{7,85}{24} = 0,33 \text{ m}$$

Nous retenons $e_0 = 0,35 \text{ m}$

$$e_1 = e_2 = \frac{H}{12}$$

$e_1 = e_2 = 0,654 \text{ m}$. On retient 0,7 m

$b = 1,15 \times (0,20 + 0,45H) = 4,29 \text{ m}$. On retient $b = 4,3 \text{ m}$

Le talon b_1 est compris entre $H/8$ et $H/5$ soit $b_1 = 1,3 \text{ m}$

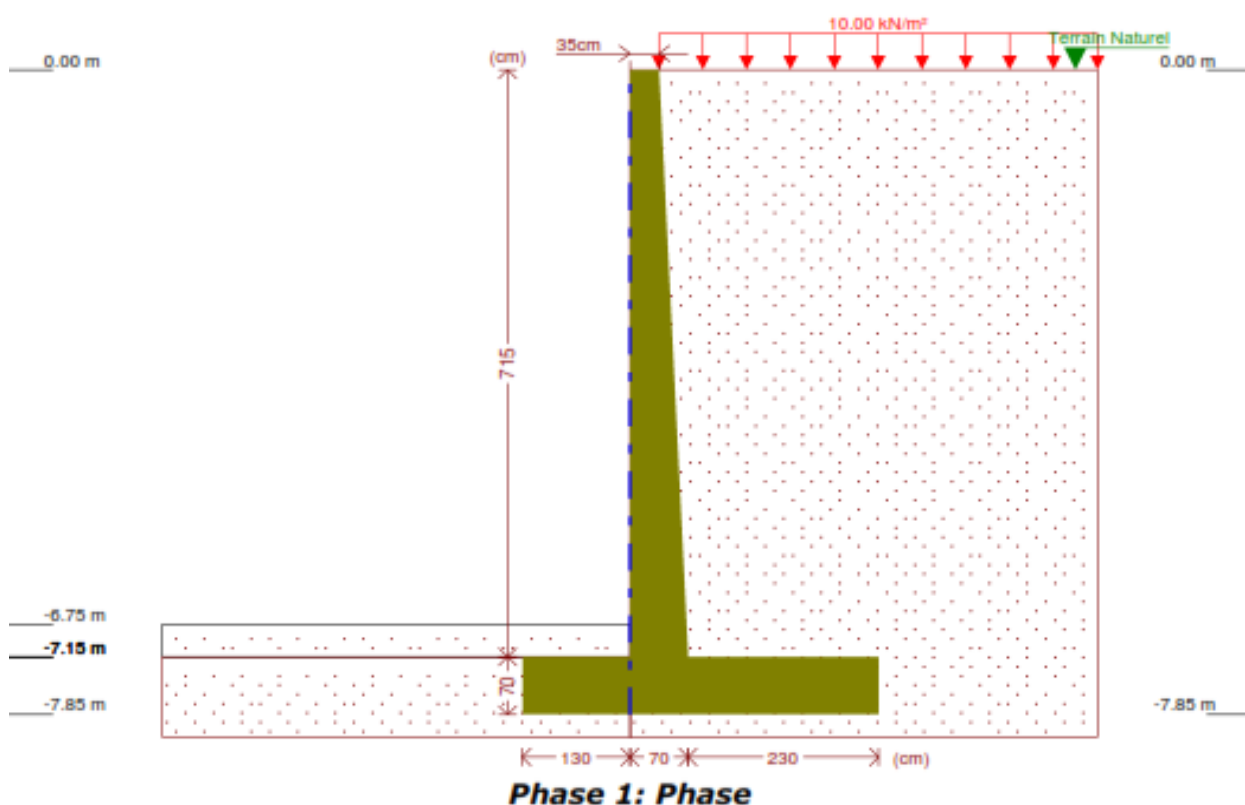
$b_2 = b - b_1 - e_1 = 4,3 - 1,3 - 0,7 = 2,3 \text{ m}$.

Désignation	Valeurs
Hauteur du remblai argileux H (m)	6,75
Longueur du mur bajoyer L (m)	37,80
Epaisseur de la crête du voile e_0 (m)	0,35
Epaisseur de la base du voile e_1 (m)	0,7

Désignation	Valeurs
Epaisseur de la semelle e_2 (m)	0,7
Largeur de la semelle b (m)	4,30
Largeur du patin de la semelle b_1 (m)	1,3
Largeur du talon de la semelle b_2 (m)	2,3
B	0

Ci-dessous quelques éléments récapitulatifs du calcul des aciers et de vérification de la stabilité du mur avec le logiciel CYPE 2016 :

1-SCHÉMA DES PHASES



2-DESCRIPTION DU FERRAILLAGE

COURONNEMENT				
Armature supérieure : 2HA16				
Ancrage avant / arrière : 25 / 25 cm				
TRONÇONS				
Num.	Avant		Arrière	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
1	HA12e=15 Recouvrement : 0.35 m	HA14e=14	HA16e=15 Recouvrement : 0.8 m Renfort 1: HA16 h=3.1 m	HA14e=14
SEMELLE SUPERFICIELLE				
Armature	Longitudinal	Transversal		
Supérieure	HA12e=15	HA16e=10 Longueur d'ancrage en prolongation : 195 cm Crosse arrière : 25 cm		
Inférieure	HA12e=15	HA12e=10 Crosse avant / arrière : 20 / 20 cm		
Longueur d'ancrage courbe en amorce : 40 cm				

3-Vérifications géométriques et de résistance

Référence: Mur: Plan de ferrailage du mur bajoyer Pélé		
Vérification	Valeurs	État
Vérification au cisaillement en amorce du mur: <i>Critère de CYPE</i>	Maximum: 1483.1 kN/m Calculé: 204.2 kN/m	Vérifiée
Épaisseur minimale du tronçon: <i>Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"</i>	Minimum: 15 cm Calculé: 35 cm	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum: 4.5 cm	
- Arrière:	Calculé: 12.6 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 12.6 cm	Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Arrière:	Calculé: 14 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 14 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique horizontal minimum par face: <i>BAEL-91, Article SETRA 3.4.3</i>	Minimum: 0.0015	
- Arrière (-7.15 m):	Calculé: 0.00157	Vérifiée
- Avant (-7.15 m):	Calculé: 0.00157	Vérifiée

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Référence: Mur: Plan de ferrailage du mur bajoyer Péelé		
Vérification	Valeurs	État
Pourcentage mécanique horizontal minimum par face: <i>Article A.8.2,41 de la norme BAEL-91</i>	Calculé: 0.00157	
- Arrière:	Minimum: 0.00095	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 0.00026	Vérifiée
Pourcentage géométrique vertical minimum sur la face tendue: <i>BAEL-91, Article B.6.4</i>	Minimum: 0.001	
- Arrière (-7.15 m):	Calculé: 0.00382	Vérifiée
- Arrière (-4.05 m):	Calculé: 0.00244	Vérifiée
Pourcentage mécanique vertical minimum sur la face tendue: <i>BAEL-91, Article A.4.2, 1</i>	Minimum: 0.00096	
- Arrière (-7.15 m):	Calculé: 0.00382	Vérifiée
- Arrière (-4.05 m):	Calculé: 0.00244	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 (-7.15 m):	Calculé: 0.00107	Vérifiée
- Avant (-4.05 m):	Calculé: 0.00137	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 (-7.15 m):	Calculé: 7.54 cm ² /m	Vérifiée
- Avant (-4.05 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: 0.00598	Vérifiée
- (-4.05 m):	Calculé: 0.00626	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.7.2,5</i>	Minimum: 3 cm	
- Arrière:	Calculé: 5.1 cm	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 12.6 cm	Vérifiée

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Référence: Mur: Plan de ferrailage du mur bajoyer Péelé		
Vérification	Valeurs	État
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: 1.4 cm	Vérifiée
Diamètre minimal des armatures verticales: <i>BAEL-91, Article A.4.5,3</i>	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1.2 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: 736.2 kN/m Calculé: 172 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: 196.36 MPa	Vérifiée
Longueur de recouvrement: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Base arrière:	Minimum: 0.7 m Calculé: 0.8 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>	Calculé: 25 cm	
- Arrière:	Minimum: 25 cm	Vérifiée
- Avant:	Minimum: 0 cm	Vérifiée
Section minimale longitudinale face supérieure poutre de couronnement: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: 4 cm ² Calculé: 4 cm ²	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
Information additionnelle:		
- Cote de la section de relation minimale 'pourcentage horizontal / pourcentage vertical' Arrière: -7.15 m		
- Cote de la section de relation minimale 'pourcentage horizontal / pourcentage vertical' Avant: -7.15 m		

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Pélé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Référence: Mur: Plan de ferrailage du mur bajoyer Pélé		
Vérification	Valeurs	État
- Section critique en flexion composée: Cote: -7.15 m, Md: 524.54 kN·m/m, Nd: 102.06 kN/m, Vd: 204.29 kN/m, Contrainte maximale de l'acier: 295.963 MPa		
- Section critique sous effort tranchant: Cote: -6.52 m		

Référence: Semelle filante: Plan de ferrailage du mur bajoyer Pélé		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité: <i>Valeur introduite par l'utilisateur.</i>	Minimum: 1.5	
- Coefficient de sécurité au renversement:	Calculé: 2.92	Vérifiée
- Coefficient de sécurité au glissement:	Calculé: 1.95	Vérifiée
Épaisseur minimale: - Semelle superficielle: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: 15 cm Calculé: 70 cm	Vérifiée
Contraintes appliquées au sol: <i>Valeur introduite par l'utilisateur.</i>		
- Contrainte moyenne:	Maximum: 0.352 MPa Calculé: 0.1245 MPa	Vérifiée
- Contrainte maximale:	Maximum: 0.44 MPa Calculé: 0.1906 MPa	Vérifiée
Flexion dans la semelle: <i>Vérification basée sur des critères résistants</i>		
- Armature sup. arrière:	Minimum: 13.49 cm ² /m Calculé: 20.1 cm ² /m	Vérifiée
- Armature inf. arrière:	Minimum: 0 cm ² /m Calculé: 11.31 cm ² /m	Vérifiée
- Armature inf. avant:	Minimum: 7.59 cm ² /m Calculé: 11.31 cm ² /m	Vérifiée
Effort tranchant: <i>BAEL-91, Article A.5.2,2</i>	Maximum: 758.3 kN/m	
- Arrière:	Calculé: 202.4 kN/m	Vérifiée
- Avant:	Calculé: 138.4 kN/m	Vérifiée
Longueur d'ancrage: <i>BAEL-91, Article A.6.1,2</i>		
- Attentes arrière:	Minimum: 31 cm Calculé: 62.6 cm	Vérifiée

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Référence: Semelle filante: Plan de ferraillage du mur bajoyer Péelé		
Vérification	Valeurs	État
- Attentes avant:	Minimum: 12 cm Calculé: 62.6 cm	Vérifiée
- Armature inf. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 20 cm	Vérifiée
- Armature inf. avant (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 20 cm	Vérifiée
- Armature sup. arrière (Crosse):	Minimum: 0 cm Calculé: 25 cm	Vérifiée
- Armature sup. avant:	Minimum: 47.3 cm Calculé: 195 cm	Vérifiée
Enrobage:	Calculé: 5 cm	
- Inférieure: <i>DTU 13.12. Article 2,54.</i>	Minimum: 4 cm	Vérifiée
- Latéral: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.1,3</i>	Minimum: 5 cm	Vérifiée
- Supérieure: <i>DTU 13.12. Article 2,54.</i>	Minimum: 4 cm	Vérifiée
Diamètre minimum: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: Ø10	
- Armature transversale inférieure:	Calculé: HA12	Vérifiée
- Armature longitudinale inférieure:	Calculé: HA12	Vérifiée
- Armature transversale supérieure:	Calculé: HA16	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure:	Calculé: HA12	Vérifiée
Séparation maximale entre barres: <i>BAEL-91, Article A.4.5,33</i>	Maximum: 25 cm	
- Armature transversale inférieure:	Calculé: 10 cm	Vérifiée
- Armature transversale supérieure:	Calculé: 10 cm	Vérifiée
- Armature longitudinale inférieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
Séparation minimale entre barres: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: 10 cm	
- Armature transversale inférieure:	Calculé: 10 cm	Vérifiée
- Armature transversale supérieure:	Calculé: 10 cm	Vérifiée

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Référence: Semelle filante: Plan de ferrailage du mur bajoyer Péelé		
Vérification	Valeurs	État
- Armature longitudinale inférieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure:	Calculé: 15 cm	Vérifiée
Pourcentage géométrique minimum:		
- Armature longitudinale inférieure: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00107	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum: 0.0005 Calculé: 0.00107	Vérifiée
- Armature transversale inférieure: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00161	Vérifiée
- Armature transversale supérieure: <i>Critère de CYPE</i>	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00287	Vérifiée
Pourcentage mécanique minimal:		
- Armature longitudinale inférieure: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum: 0.0004 Calculé: 0.00107	Vérifiée
- Armature longitudinale supérieure: <i>FASCICULE N°62 - Titre V, Article B.4.3</i>	Minimum: 0.00071 Calculé: 0.00107	Vérifiée
- Armature transversale inférieure: <i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum: 0.00096 Calculé: 0.00161	Vérifiée
- Armature transversale supérieure : <i>BAEL-91, Article A.4.2</i>	Minimum : 0.00096 Calculé : 0.00287	Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		
Information additionnelle :		
- Moment fléchissant défavorable dans la section de référence de l'arrière : 357.58 kN·m/m		
- Moment fléchissant défavorable dans la section de référence de l'avant : 204.21 kN·m/m		

4.-Vérifications de stabilité (cercle de glissement le plus défavorable)

Référence : Vérifications de stabilité (Cercle de glissement le plus défavorable) : Plan de ferrailage du mur bajoyer Péelé		
Vérification	Valeurs	État
Cercle de glissement le plus défavorable : Combinaisons sans séisme : - Phase : Coordonnées du centre du cercle (-1.69 m ; 4.25 m) – Rayon : 13.00 m: <i>Valeur introduite par l'utilisateur.</i>	 Minimum: 1.5 Calculé: 2.116	 Vérifiée
Toutes les conditions sont vérifiées		

Annexe V : Note de calcul ouvrage de prise d'eau et de vidange

$Q = \frac{B}{N * Nw * Tw * 3600}$	✓ BB : besoins brutes mensuels [m ³]
$Q = CS \times \sqrt{2 \times g \times H}$	✓ N : le nombre de jour du mois
$\rightarrow S = \frac{Q}{C \sqrt{2 \times g \times H}}$	✓ Nw = 6/7 et Tw = 8 heures
$D = 1000 \times \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = 1000 \times \sqrt{\frac{4Q}{C\pi \sqrt{2 \times g \times H}}}$	✓ C = 0,8 g = 9,81 m/s
	✓ S : la section de la conduite [m] ;
	✓ Q : le débit fictif [m ³ /s] ;
	✓ D : le diamètre de la conduite [mm] ;
	✓ H = 263 – 260 = 3 m

Le tableau ci-dessous fait la synthèse du calcul du débit d'équipement ainsi que du diamètre de la conduite pour l'alimentation en eau du périmètre.

Désignation	Janvier	Février	Mars	Avril	Novembre	Décembre
N(j)	31	28	31	30	30	31
Besoins	950880	887924	937676	774268	769919	970649
Débit fictif (m3/s)	1,24	1,28	1,23	1,05	1,04	1,27
Diamètre théorique (mm)	508	516	504	466	464	513

Ces résultats indiquent que pour satisfaire les besoins du mois de pointe, le diamètre théorique de la conduite est 516 mm. Nous optons pour deux ouvrages de prise (en rive gauche et rive droite) avec des diamètres commerciaux de 400 mm pour une pression nominale de 6bars. Ces conduites pourront refouler chacune un débit de 771,28 l/s soit un cumule de 1542,55 l/s pour un besoin de pointe estimé à 1268,40 l/s. Ainsi, le temps de travail sera réduit.

Conduite de vidange

Le diamètre minimal recommandé par le Comité Français des Grands Barrages pour une conduite de vidange consigné dans le tableau suivant :

$H^2V^{0.5}$	Type de conduite	Diamètre (mm)	Nombre et position des vannes
< 30	PVC ou acier	PVC 160 ou 200 / Acier 200 ou 300	1 vanne aval
30 à 100	Acier	300 à 400	
100 à 300	Acier ou béton à âme tôle	400 à 600	1 vanne de garde amont + 1 vanne aval
300 à 700		600 à 800	
700 à 1500		800 à 1200	
> 1500	Galerie en béton armé		1 vanne de garde + 1 vanne réglable à l'amont

Dans notre étude, $H^2V^{0.5} = 150$ d'où le choix d'une conduite de 400 mm en acier pour un temps de vidange de 190 jours. Ainsi, pour tenir compte du temps de vidange nous avons retenu une conduite de 800 mm pour un temps de vidange de 90 jours.

Annexe VI : Synthèses des impacts du projet sur l'environnement et le social

Identification des sources et des récepteurs d'impacts

Sources d'impacts : Les sources d'impacts potentiels sont définies comme l'ensemble des activités prévues lors des travaux, d'exploitation et d'entretien du barrage. Deux cas de figures sont envisagés :

- En période de construction : Les sources d'impacts potentiels sont l'installation de chantier/base vie, les travaux d'aménagement, l'exploitation des sites d'agréats, et la présence de la main-d'œuvre sur le chantier.
- En période d'exploitation et d'entretien : Les sources d'impacts sont liées à la présence du barrage, l'exploitation du barrage, les travaux d'entretien et l'organisation des exploitants de l'aménagement.

Récepteurs d'impacts : Les récepteurs d'impacts sont les composantes du milieu susceptibles d'être affectées par le projet et correspondent aux éléments sensibles de la zone, c'est-à-dire ceux susceptibles d'être modifiés de façon significative par les activités (ou sources d'impacts) liées au projet. Les récepteurs biophysiques du projet sont : la végétation, la faune, l'eau de surface et le ruissellement, l'eau souterraine, le sol, la topographie du terrain, l'environnement atmosphérique, le climat sonore. Les récepteurs du milieu humain sont : les activités socioéconomiques des habitants : agriculture, élevage, riziculture, commerce ; l'organisation des producteurs ; la cohésion sociale ; les compétences locales : formations et voyages d'études.

Impacts du projet sur les différents domaines de l'environnement

Le présent projet consiste en la reconstruction du barrage de Péelé. L'objectif visé est la contribution à l'amélioration de la disponibilité en eau de surface pour la culture de contre-saison et de l'abreuvement des animaux.

• Impacts sur l'air

Il y aura le fonctionnement et le déplacement des engins sur le site. Cela se traduira par l'émission de gaz des moteurs des engins (sous forme de fumée) et de la poussière. L'atmosphère du site sera donc polluée. *Cet impact est plus ou moins important, négatif et temporaire.*

• Impacts sur les eaux de surface

Les eaux de surface seront prélevées pour les besoins des chantiers de construction. Ces eaux peuvent être polluées par les hydrocarbures en cas de déversements accidentels. Dans les jardins

et périmètres maraîchers, les eaux de drainage emporteront une partie des fertilisants apportés et également des pesticides.

- **Impacts sur les eaux souterraines**

Les travaux de reconstruction du barrage n'auront quasiment pas d'impact sur les eaux souterraines en termes quantitatifs. En effet, les eaux souterraines peuvent être contaminées par les intrants agricoles tels que les engrais et les pesticides provenant des activités agricoles sur les aménagements.

- **Impacts sur les sols**

Les travaux de déboisement et de débroussaillage débarrasseront les sols de leur couvert végétal. Cela pourrait conduire à une intensification de leur dégradation par érosion hydrique et éolienne. Par contre, dans les zones d'emprunt, les sols seront détruits en profondeur sur toute la superficie des excavations.

- **Productions végétales**

La reconstruction du barrage de Péelé va contribuer à l'augmentation des productions végétales en permettant une diversification (riziculture, cultures maraîchères) et une certaine intensification des cultures irriguées d'une part. D'autre part, on assistera une augmentation des superficies agricoles et maraîchères estimée à au moins 250 ha.

- **Activités pastorales**

La reconstruction du barrage de Péelé va permettre de stocker une plus grande quantité d'eau pour l'abreuvement des animaux. Cela contribuera à l'allongement dans le temps de la disponibilité de l'alimentation pour le bétail (résidus de récolte de contre saison).

- **Impact sur le patrimoine archéologique, historique ou socioculturel**

Le site du barrage n'abrite pas de sites socioculturels majeurs selon les enquêtes réalisées. Toutefois la découverte de vestiges historiques, lors des travaux de construction ou sur les sites d'emprunts doit être porté à la connaissance des autorités communales.

- **Impacts sur la faune**

Pendant les travaux toute la petite faune se trouvant dans l'emprise de l'aménagement (rats, autres) va être obligée de déménager si elle n'est pas exterminée. *Cet impact est peu important, négatif et permanent.* Le site étant utilisé pour la culture et pour la pâture des animaux, la faune y est pauvre.

- **Impact sur la topographie du terrain**

L'implantation de la digue réduira ou annulera la pente longitudinale du site. Cela aura pour effet le ralentissement de la vitesse de l'eau et par conséquent la diminution de la dynamique érosive. L'eau s'infiltrera davantage dans le sol. *Cet impact important, positif sera permanent.* A plus ou moins long terme, après l'aménagement, cette infiltration pourra être exploitée pour la réalisation de puits et de puisards pour augmenter la disponibilité en eau du site. Elle contribuera également à la remontée de la nappe phréatique sur le site et rallongera la disponibilité en eau.

- **Impacts sur le climat sonore**

Pendant la période des travaux, les bruits des engins modifieront le climat sonore du milieu. Cela va entraîner la fuite ou l'éloignement de la faune du site. *Cet effet peu important sera négatif et temporaire.*

Impacts de l'aménagement sur le milieu humain

- **Impacts sur l'emploi**

La mise en œuvre du chantier de construction des diguettes se fera par le recrutement de la main d'œuvre. Des dispositions devront être prises pour que la main d'œuvre non qualifiée et même qualifiée (lorsque cela est possible) soit recrutée sur place au sein de la communauté bénéficiaire. Dans ces conditions la période des travaux constitue une période où il y aura une amélioration de la situation des jeunes en quête d'emploi et qui sont restés au village. *Cet effet est important, positif et temporaire.*

- **Impacts sur la santé de la population**

La présence des travailleurs du chantier va se traduire par des brassages entre la population sur place et ceux-ci. Des possibilités de transmission de certaines maladies comme les IST /SIDA seront ainsi établies. Des mesures de prudence doivent être prises. *Cet effet est important, négatif et temporaire.* Les travaux couvrent une période courte et regroupera peu de travailleurs, ce qui limite les risques ci-dessus évoqués.

- **Impacts sur le commerce**

Pendant la période des travaux dans le village, les commerçants verront leurs chiffres d'affaires augmenter du fait de la présence des travailleurs du chantier de reconstruction du barrage. *Cet effet positif, peu important est temporaire*, couvre la période des travaux.

Impacts du projet pendant la période d'exploitation

Impacts sur le milieu biophysique

- **Impacts sur la végétation**

Au niveau des zones subissant l'influence de la partie aménagée, la probabilité d'accroissement en fréquence spécifique de certaines espèces sera grande. Il s'agit d'espèces hydrophiles comme *Mitragyna inermis*, *Piliostigma thonningii*, *Ficus gnaphalocarpa*, *Terminalia avicenoïdes* et *Terminalia macroptera*. *Cet effet positif et local, important sera permanent* (tant que fonctionne le barrage). Ce facteur pourra être exploité par les exploitants pour mettre en place des fruitiers qui ont un effet peu dépressif sur les cultures.

- **Impacts sur la terre**

Les travaux qui seront effectués sur le terrain vont conduire à une augmentation de la valeur des terres. Le résultat de tout cela est la création de conditions plus ou moins bonnes pour mener des activités rentables que celles conduites actuellement sur le site. *Cet impact positif est important et permanent* (tant que fonctionne le barrage).

- **Impacts sur l'eau souterraine**

Les eaux de ruissellements seront stockées au niveau du parcellaire, s'infiltreront dans le sol et alimenteront la nappe phréatique. Cela sera favorable à plus ou moins long terme à la réalisation de puits busés et de puisards traditionnels. Il y aura également une augmentation de la disponibilité de l'eau au niveau du barrage où l'eau sera disponible plus longtemps. *L'impact sur la nappe phréatique est positif, important et permanent*. Il faut cependant veiller à ce que l'utilisation abusive de pesticides ou autres éléments nocifs provenant des engrais ne la pollue. *Dans ce cas l'impact est négatif, important et permanent (tant lesdites substances sont abusivement utilisées)*.

Impacts sur le milieu humain

- **Impacts sur les capacités locales**

L'appui à l'organisation des producteurs par la mise en place d'un comité de gestion du barrage va donner un nouveau souffle à l'organisation des producteurs du site. La formation dont

bénéficieront les futurs membres comité de gestion du site relèvera le niveau technique des bénéficiaires de ces formations. *Ces impacts positifs sont importants et permanents*

- **Impacts sur le foncier et les activités pastorales**

L'aménagement entraînera une diminution des pâturages de saison sèche. *Cet impact est plus ou moins important, négatif et permanent.* Les résidus de récolte seront stockés et utilisés en saison sèche pour l'alimentation du bétail en compensation de la superficie détruite dans le cadre de la reconstruction du barrage. *Cet impact est plus ou moins important, positif et permanent.* De même des dispositions doivent être prises par les propriétaires d'animaux de sorte à minimiser les conflits entre agriculteurs exploitant le barrage et les propriétaires de bétail. *Cet impact est important, positif et permanent.*

- **Impacts sur le social**

La réalisation de l'aménagement va se traduire par un changement social au niveau de la communauté : les producteurs qui bénéficient de parcelles d'exploitation et qui feront des marges bénéficiaires assez intéressantes verront leur statut social changer. La mise en place d'une structure de gestion de l'aménagement et les formations conséquentes qui seront dispensées vont entraîner un renforcement des capacités de gestion de celle-ci et de ce fait une disponibilité accrue de compétences au niveau local. Au cas où les villages riverains bénéficient de parcelles sur le périmètre à aménager à l'aval du barrage, cela aura pour effet l'amélioration des relations entre ces derniers et Péelé. Les jeunes quitteront de moins en moins la zone du projet. *Ces impacts positifs sont importants et permanents.*

- **Impacts sur la santé de la population**

L'augmentation de la disponibilité de l'eau de surface au niveau du barrage engendrera le développement de la malaria. En effet, l'augmentation de la quantité et de la durée de la disponibilité en l'eau de surface engendre également des conditions favorables au développement de certains insectes comme les moustiques. Dans ces conditions il y a parallèlement un développement important de la malaria constituant un vrai problème de santé qu'il va falloir prendre en compte dans les actions de gestion du milieu où évolue la population d'exploitants. Quel que soit le type d'aménagement, il y a développement de cette maladie. Dans le cas où l'aménagement conduit à une ouverture du milieu, il y a développement de Anopheles gambiae et Anopheles arabiensis. Dans le cas contraire c'est Anopheles funestus qui se développe. Par ailleurs, les résultats de la recherche montrent que « les relations entre hydro aménagements et

bilharzioses sont sans doute parmi les plus évidentes qui aient été observées dans le contexte africain. Elles ont d'ailleurs été à l'origine d'un certain nombre de catastrophes qui, parfois, ont été récupérées par les professionnels de la santé pour montrer du doigt les agronomes. Le bilan fait par Poda et al. (2009) au Burkina Faso confirme que les mollusques, hôtes intermédiaires du parasite, existent sur tout le territoire, mais que les hydro aménagements constituent certainement un facteur amplificateur important de transmission de cette maladie, aussi bien dans sa forme urinaire que digestive ». Il en est de même de la tentation de consommer l'eau qui se trouve dans les parcelles pour les maladies diarrhéiques. Lors des travaux dans les barrages aménagés, les producteurs utilisent l'eau du barrage pour la consommation. Il s'en suit une augmentation des risques d'affections dues au péril fécal. De même, il y aura une prolifération d'escargots et par conséquent le développement de la bilharziose. *Ces impacts négatifs et importants sont permanents.* Par contre l'augmentation des revenus des exploitants du barrage permettra aux producteurs d'avoir une plus grande capacité de prise en charge des soins de santé. Ainsi la santé de la population se verra améliorée. *Ces impacts sont positifs, importants et permanents.*

Pour pallier ces problèmes de santé liés à l'aménagement, des conseils devront être prodigués aux producteurs par les services de santé.

- **Impacts sur la scolarisation des enfants**

L'augmentation des rendements et par conséquent des productions sur le barrage va se traduire par une augmentation des revenus des exploitants. Cela va permettre à ceux-ci de consacrer plus de moyens à la scolarisation des enfants. *Ces impacts positifs sont importants et permanents.*

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Pélé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Identification des impacts de réhabilitation du barrage de Pélé

Sources d'impacts	COMPOSANTES DU MILIEU RECEPTEUR											
	Milieu physique				Milieu biologique		Milieu humain					
	Air/ microclimat	Sol	Eaux de surface	Eaux Souterraine	Faune	Végétation/ paysage	Sécurité Santé	Emploi/population	Circulation	Commerce, artisanat et transport	Agropastoral	Sécurité alimentaire
Phase de construction												
Installation du chantier	X	X	0	0	X	X	X	X	0	X	0	0
Recrutement de personnel (création d'emploi)								X	0	0	0	0
Débroussaillage abattage, déboisement dans l'emprise du projet	X	X			X	X	X	X	0	0	0	0
Reconstruction de la digue de protection et du déversoir (préparation et mise en œuvre de bétons pour les ouvrages de maçonnerie-béton)	X	X	X	X	0		X	X	0	0	0	0
Réalisation et ou la réhabilitation des voies d'accès aux sites	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0
Transport et circulation liés aux activités de chantier	X	0	X	0	X	0	X	X	X	X	0	0
Création et exploitation des emprunts et carrières	X	X	0	0	X	X	X	X	X	0	0	0
Repli du chantier (restauration des zones d'emprunts)	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0
Phase d'exploitation												
Présence du barrage réhabilité avec ces divers usages	X	X	X	X	X	X	X	X	0	X	X	X
Présence du périmètre irrigué	X	X	0	0	0	0	0	X	0	X	X	X
Production de la pêche	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	X
Fréquentation du bétail autour du barrage et des périmètres irrigués	X	0	X	X		X	0	0	0	0	X	X
X: Présence d'impacts 0: Absence d'impacts												

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Matrice d'évaluation de FECTEAU

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

Plan de gestion environnementale et sociale (PGES)

OBJECTIF GLOBAL : Concilier les avantages du projet de réhabilitation du barrage de Pélé et la protection de l'environnement							
PARTIE DU PGES COMMUNE À TOUS LES TROIS DOMAINES THÉMATIQUES							
Objectifs spécifiques	Résultats	Activités	Période de mise en œuvre	Acteurs	Indicateurs objectivement vérifiables	Moyens de vérification	Ordre de priorité
Sensibilisation des riverains et du personnel des chantiers sur les enjeux environnementaux du projet	Les riverains du site de la retenue d'eau et le personnel sont conscients de la nécessité de protéger l'environnement	Campagnes et réunions de sensibilisation des riverains du site de la retenue d'eau et du personnel	Avant le début des travaux et suivant une fréquence à déterminer par le comité de suivi environnemental	Mission de Contrôle (MDC)	Respect des bonnes pratiques environnementales par les groupes cibles	Rapports des campagnes et réunions de sensibilisation, élaborés par la MDC	Prioritaire
Élaboration d'un règlement intérieur pour le respect de l'environnement par le personnel des chantiers	Un règlement intérieur édictant les règles de bonnes pratiques environnementales et les sanctions en cas de manquement est dressé	Rédaction d'un règlement intérieur pour le respect de l'environnement	Au début des travaux	Entreprises MDC	Le personnel des chantiers est respectueux de l'environnement	Rapports mensuels d'activités environnementales émanant de la MDC	Prioritaire

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	Objectifs spécifiques	Résultats	Action d'atténuation/Bonification	Echéance de mise en œuvre	Acteurs	Indicateurs objectivement vérifiables	Moyens de vérification	Ordre de priorité
MILIEU PHYSIQUE								
Qualité de l'air	Diminution de la pollution de l'air et réduction des maladies oculaires et pulmonaires pendant les travaux	La pollution atmosphérique par les poussières et les gaz d'échappement des véhicules et des engins ont diminué ainsi que les maladies respiratoires et oculaires qui y sont associées.	Arrosage régulier des chantiers.	Début et pendant les travaux	Entreprises	Les chantiers sont arrosés	Rapports de suivi de la MDC.	Indispensable
			Port de lunettes et masques.		MDC	Nombre de maladies respiratoires et oculaires signalées pendant les travaux.	Rapport de surveillance.	
			Vérification régulière des échappements provenant des véhicules et des engins et réglage régulier des moteurs.		Comité de surveillance		Rapports mensuels des Centres de Santé.	
Eaux de surface et eaux souterraines	Lutter contre la pollution des eaux de surface et souterraines.	Les risques de pollution physique et chimique des eaux sont atténués.	Ouverture de zones d'emprunt et de dépôt au moins à 500 m du cours d'eau.	Début et pendant les travaux	Entreprises	Normes de qualité des eaux Fiches d'analyses de laboratoire.	Existence des fiches d'analyses	Très prioritaire
			Collecter régulièrement des déchets solides et liquides des chantiers en vue de leurs évacuations.		MDC		Rapports de suivi.	
			Disposer les motopompes à au moins		Comité de suivi			

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	Objectifs spécifiques	Résultats	Action d'atténuation/Bonification	Echéance de mise en œuvre	Acteurs	Indicateurs objectivement vérifiables	Moyens de vérification	Ordre de priorité
			30 m des berges et construire un merlon autour des motopompes pour éviter le ruissellement autour de l'aire de pompage.					
					Ministère de la Santé			
Sols	Lutter contre les modifications esthétiques et les propriétés physiques des sols.	Les risques d'atteinte aux caractéristiques esthétiques et de modifications aux propriétés physiques du sol ont diminué dans les zones d'emprunt et de dépôt en particulier.	Remise en état du sol dans les zones d'emprunt, de dépôt, parking et dans les bases – vies	Après repli des chantiers.	Entreprises	La terre est végétale régalee, espèces végétales adaptées plantées.	Fiches de réception des travaux de la MDC.	Très prioritaire
				Après exploitation des sites d'emprunt et de dépôt.	MDC		Rapport de vérification du comité de suivi.	
					Comité de suivi			
	Lutter contre les risques de pollution des sols.	La pollution par les déchets solides est atténuée.	Collecter régulièrement des déchets solides et liquides des chantiers en vue de leurs évacuations.	Pendant les travaux.	Entreprises	Absence de site contaminé.	Journaux des chantiers de la MDC,	Très prioritaire

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Pélé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	Objectifs spécifiques	Résultats	Action d'atténuation/Bonification	Echéance de mise en œuvre	Acteurs	Indicateurs objectivement vérifiables	Moyens de vérification	Ordre de priorité
		Les risques de déversement accidentel d'hydrocarbures sont diminués.	Vidanger les engins et les véhicules à des endroits appropriés.		MDC	Les bases vie et les parkings nettoyés des dépôts solides et des empreintes de taches d'hydrocarbures.	et rapports du comité de surveillance.	
					Comité de suivi			
Végétation	Réduire le taux de destruction de la végétation naturelle.	Les pertes en flore sont réduites.	Plantations d'arbres, réalisation de bosquets villageois.	Avant et après les travaux.	Entreprises Direction régionale de l'Environnement, de l'Économie Verte et du Changement Climatique.	Les arbres et les bosquets sont plantés.	Les rapports de constat du maître d'ouvrage délégué.	Prioritaire
Faune sauvage	Réduire l'impact du projet sur la faune et l'habitat faunique.	La perte de faune et d'habitats est atténuée.	Réhabilitation des bases vie en zone périurbaine. Interdiction de prélèvement de la faune.	Avant et après travaux.	Entreprises Direction régionale de l'Environnement et de l'Économie Verte et du	Les surfaces minimales pour les bases vie, sont décapées en laissant sur place les espèces protégées.	Les rapports de constat du maître d'ouvrage délégué.	Prioritaire

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	Objectifs spécifiques	Résultats	Action d'atténuation/Bonification	Echéance de mise en œuvre	Acteurs	Indicateurs objectivement vérifiables	Moyens de vérification	Ordre de priorité
					Changement Climatique			
Patrimoine archéologique, culturel	Réduire l'impact du projet sur le patrimoine archéologique, culturel et historique	La destruction du patrimoine archéologique, culturel et historique est limitée		Avant et après travaux				
MILIEU HUMAIN								
Santé - sécurité voisinage	Accroître la sécurité des riverains du site de la retenue d'eau.	Diminution du nombre d'accidents de la circulation.	Signalisation provisoire au droit des zones des travaux.	Dès le début des travaux et pendant les travaux.	Entreprises	Nombre de préservatifs écoulés	Rapports des enquêtes	Très prioritaire
	Réduire les risques de propagation des IST/SIDA.	le personnel des chantiers et les riverains sont sensibilisés sur les IST/SIDA.	Campagnes de sensibilisations, distribuer gratuitement des préservatifs et mise en place d'un réseau de vente de préservatifs		MDC	Nombre d'accidents observés.	Rapports du comité de suivi.	
	Diminution de la nuisance phonique pendant les travaux.	La surveillance médicale du personnel et des riverains est assurée	Limitation des horaires de travail pendant le jour		Ministère de la Santé	Les Enquêtes auprès des riverains du site du barrage sont réalisées.		

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Pélé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	Objectifs spécifiques	Résultats	Action d'atténuation/Bonification	Echéance de mise en œuvre	Acteurs	Indicateurs objectivement vérifiables	Moyens de vérification	Ordre de priorité
		pendant les travaux						
		Les risques de pollution sonore sont atténués	Vérification régulière du bon fonctionnement des engins		Prestataire de service.			
Emploi	Création d'emploi.	Augmentation de l'emploi.	Recrutement des travailleurs ressortissants des agglomérations riveraines du site du barrage.	Pendant les travaux.	Entreprises	Nombre de personnes embauchées.	Rapports d'activités des entreprises et de la MDC.	Indispensable
Agriculture / élevage	Développement de l'agriculture et de l'élevage.	Augmentation de la production agropastorale.	Entretien fréquemment les ouvrages.	Tout le temps.	DGAH	Travaux d'entretien courant réalisés.	Rapports sur l'entretien des ouvrages des entreprises adjudicataires.	Indispensable
			Doter les exploitants des outils attelés de travail.	Après les travaux.	Comités de suivi.	Augmentation de la production agropastorale.	Rapports d'activités de la Direction Régionale chargée de l'Agriculture et de l'Élevage.	

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	Objectifs spécifiques	Résultats	Action d'atténuation/Bonification	Echéance de mise en œuvre	Acteurs	Indicateurs objectivement vérifiables	Moyens de vérification	Ordre de priorité
			Donner une place de choix dans la stratégie alimentaire du bétail en encourageant la culture fourragère.		Ministères chargés de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche.			
Pêche	Ressources halieutiques.	Augmentation et écoulement des produits de la pêche.	Empoisonner les plans d'eau	Tout le temps	Min chargé des Ressources Animales et Halieutiques et	Statistique	Rapports d'activités de la direction régionale compétente.	Indispensable
			Renforcer par l'entretien courant des infrastructures pour pérenniser les acquis	Après les travaux.	Associations	Flux des transactions.		
			Organiser le secteur					
Commerce		Augmentation des échanges commerciaux.		Après les travaux.	Structures locales / régionales du Ministère de l'Économie et des Finances.	Travaux d'entretien courant réalisés.	Rapports d'activités des structures décentralisées des Ministères chargés de l'Économie et du commerce.	Indispensable
	Développement du secteur du commerce.		Entretenir couramment les ouvrages et les infrastructures pour pérenniser les acquis.		Comités de suivi.	Augmentation du volume des échanges de marchandises.		
Artisanat			Entretenir couramment les ouvrages et les	Après les travaux.	Directions régionales de la	Travaux d'entretien	Rapports d'activités	Indispensable

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Pélélé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

PARTIE DU PGES SPÉCIFIQUE AUX DOMAINES PARTICULIERS								
Récepteur d'impact	Objectifs spécifiques	Résultats	Action d'atténuation/Bonification	Echéance de mise en œuvre	Acteurs	Indicateurs objectivement vérifiables	Moyens de vérification	Ordre de priorité
	Développement de l'artisanat.	Augmentation des produits de l'artisanat.	infrastructures pour pérenniser les acquis.		promotion de l'artisanat. Comités de suivi.	courant réalisés. Augmentation du volume des échanges des produits de l'artisanat.	des directions régionales de la promotion de l'artisanat.	
Conditions des femmes rurales et couches vulnérables	Amélioration des conditions de vie des femmes rurales.	Les conditions des femmes sont améliorées	Entretien couramment les ouvrages. Initier des microprojets en faveur des femmes rurales.	Pendant et après les travaux.	Directions régionales chargées de la promotion de la femme et les structures de micro crédits.	Les tâches ménagères sont allégées. Les micro-projets sont réalisés en faveur des femmes rurales.	Rapports d'activités des services techniques compétents.	Très prioritaire

Source : EIES, Bureau d'Etude BERA, septembre 2021

Devis estimatif des mesures environnementales et sociales

En ce qui concerne les impacts sur la qualité de l'air, la protection des sols et des eaux et la santé des ouvriers pendant l'exécution des travaux. Sur la base de l'analyse des impacts du projet sur l'environ, les actions environnementales sont identifiées et évaluées ainsi qui suit :

N°	Impacts / Actions environnementales	TOTAL
1. Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)		
1.1	Création Comité d'Usager de l'Eau (CUE), délimitation et le balisage des pistes	2 000 000
1.2	Reboisements compensatoires	5 500 000
Sous-Total Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)		7 500 000
2. Compensations pour les biens impactés		
2.1	Compensations des terres agricoles	10 650 000
2.2	Spéculation céréalières et maraichères	6 441 113
2.3	Coût de préparation de nouveaux champs	887 500
Sous-Total Compensations des biens impactés		17 978 613
3. Surveillance et suivi environnemental		
3.1	Programme d'information, de sensibilisation	2 000 000
3.2	Programme de renforcement des capacités	3 000 000
3.3	Suivi et évaluation du PGES	3 000 000
Sous Total/Surveillance et suivi environnemental		8 000 000
Total		33 478 613

Il faudra en plus des actions énumérées ci-dessus, procéder à la délimitation de la bande de servitude de 100 m autour du barrage par la mise en place de bornes. Ces bornes doivent avoir une hauteur d'environ 80 cm pour être bien visibles.

Source : PGES, Bureaux d'Etudes BERA, septembre 2021

Annexe VII : Avant métré et devis quantitatif et estimatif

Synthèse du métré de la digue

N°	Côtes TN (m)	Côtes digue (m)	Largeur crête (m)	Distance (m)	H (m)	Si (m²)	Vi (m3)	Si (m²)	Vi (m3)	Vi(m3)
Profils					Digue			Noyau argileux		Latérites
1	265,00	265	4	0,00	0,20	0,89	31,88	0,84	28,77	3,11
2	264,74	265	4	20,00	0,46	2,30	42,48	2,04	36,50	5,98
3	264,50	265	4	33,72	0,70	3,90	26,40	3,28	22,08	4,32
4	264,42	265	4	40,00	0,78	4,51	104,92	3,75	85,54	19,38
5	264,23	265	4	60,00	0,97	5,98	139,73	4,81	110,17	29,56
6	264,01	265	4	80,00	1,20	7,99	190,23	6,21	144,37	45,86
7	263,70	265	4	100,00	1,50	11,03	265,53	8,23	193,14	72,38
8	263,32	265	4	120,00	1,88	15,52	280,95	11,09	200,00	80,95
9	263,25	265	4	137,66	1,95	16,30	38,16	11,57	27,09	11,07
10	263,26	265	4	140,00	1,94	16,24	354,61	11,53	248,87	105,74
11	263,03	265	4	160,00	2,17	19,22	410,46	13,36	282,78	127,68
12	262,85	265	4	180,00	2,35	21,83	479,09	14,92	323,59	155,49
13	262,57	265	4	200,00	2,63	26,08	502,52	17,44	337,50	165,02
14	262,69	265	4	220,00	2,51	24,17	479,43	16,31	323,92	155,51
15	262,72	265	4	240,00	2,48	23,77	499,83	16,08	335,90	163,93
16	262,56	265	4	260,00	2,64	26,21	543,07	17,51	361,21	181,86
17	262,45	265	4	280,00	2,76	28,10	572,54	18,61	378,33	194,21
18	262,38	265	4	300,00	2,82	29,16	622,16	19,22	406,85	215,31
19	262,15	265	4	320,00	3,05	33,06	708,19	21,46	455,84	252,35
20	261,90	265	4	340,00	3,30	37,76	852,80	24,12	536,69	316,11
21	261,41	265	4	360,00	3,79	47,52	147,17	29,55	91,26	55,91
22	261,31	265	4	363,03	3,89	49,71	874,47	30,75	538,68	335,80
23	261,14	265	4	380,00	4,06	53,33	1221,58	32,72	737,88	483,70
24	260,49	265	4	400,00	4,71	68,83	1336,35	41,06	799,80	536,55
25	260,65	265	4	420,00	4,55	64,81	1356,15	38,92	810,33	545,82
26	260,41	265	4	440,00	4,79	70,81	1534,94	42,12	905,06	629,88
27	259,96	265	4	460,00	5,24	82,68	1907,13	48,39	1099,50	807,63
28	259,10	265	4	480,00	6,10	108,03	2057,18	61,56	1177,79	879,39
29	259,44	265	4	500,00	5,76	97,69	2129,05	56,22	1214,73	914,32
30	258,88	265	4	520,00	6,32	115,22	2341,59	65,26	1324,22	1017,37
31	258,76	265	4	540,00	6,44	118,94	605,19	67,17	341,18	264,01
31 bis	258,64	265	4	545,00	6,56	123,13	1944,46	69,31	1089,24	855,22
32	258,26	265	4	560,00	6,94	136,13	1361,28	75,92	759,24	602,05

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Pélélé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

N°	Côtes TN (m)	Côtes digue (m)	Largeur crête (m)	Distance (m)	H (m)	Si (m²)	Vi (m3)	Si (m²)	Vi (m3)	Vi(m3)
Profils					Digue			Noyau argileux		Latérites
DEVERSOIR										
45	257,73	265	4	820,00	7,47	155,28	2896,19	85,61	1606,19	1289,99
46	258,31	265	4	840,00	6,89	134,34	2908,62	75,01	1612,45	1296,17
47	257,70	265	4	860,00	7,50	156,52	3133,89	86,23	1726,33	1407,56
48	257,69	265	4	880,00	7,51	156,86	2823,89	86,40	1569,31	1254,58
49	258,57	265	4	900,00	6,63	125,52	1257,87	70,53	706,63	551,25
49 bis	258,55	265	4	910,00	6,65	126,05	1263,13	70,80	709,31	553,82
50	258,54	265	4	920,00	6,66	126,58	2485,71	71,06	1397,92	1087,80
51	258,67	265	4	940,00	6,53	122,00	2312,53	68,73	1309,21	1003,32
52	259,06	265	4	960,00	6,14	109,26	2049,53	62,19	1173,77	875,76
53	259,51	265	4	980,00	5,69	95,70	1913,90	55,18	1103,64	810,26
54	259,51	265	4	1000,00	5,69	95,70	1804,60	55,18	1046,62	757,98
55	259,89	265	4	1020,00	5,31	84,76	1529,41	49,48	901,96	627,45
56	260,51	265	4	1040,00	4,69	68,18	1305,80	40,72	783,44	522,35
57	260,75	265	4	1060,00	4,45	62,40	1227,33	37,63	741,42	485,92
58	260,84	265	4	1080,00	4,37	60,33	1136,80	36,51	692,49	444,31
59	261,14	265	4	1100,00	4,06	53,35	1118,03	32,74	682,37	435,66
60	260,92	265	4	1120,00	4,28	58,45	1038,08	35,50	638,55	399,53
61	261,51	265	4	1140,00	3,69	45,36	911,44	28,35	569,46	341,98
62	261,49	265	4	1160,00	3,71	45,79	909,17	28,59	568,21	340,96
63	261,52	265	4	1180,00	3,68	45,13	912,90	28,23	570,27	342,64
64	261,47	265	4	1200,00	3,73	46,16	932,00	28,80	580,80	351,20
65	261,43	265	4	1220,00	3,77	47,04	945,17	29,28	588,05	357,12
66	261,41	265	4	1240,00	3,79	47,48	732,90	29,52	455,79	277,11
67	261,41	265	4	1255,45	3,79	47,40	214,41	29,48	133,44	80,97
68	261,44	265	4	1260,00	3,76	46,85	904,10	29,18	565,38	338,72
69	261,60	265	4	1280,00	3,60	43,56	868,38	27,36	545,63	322,74
70	261,61	265	4	1300,00	3,59	43,28	825,22	27,20	521,59	303,63
71	261,82	265	4	1320,00	3,38	39,24	761,22	24,96	485,81	275,41
72	261,94	265	4	1340,00	3,26	36,88	764,68	23,63	487,75	276,93
73	261,80	265	4	1360,00	3,40	39,59	703,87	25,15	453,16	250,70
74	262,28	265	4	1380,00	2,92	30,80	576,60	20,17	380,60	196,00
75	262,52	265	4	1400,00	2,68	26,86	515,71	17,89	345,23	170,49
76	262,66	265	4	1420,00	2,54	24,71	473,56	16,63	320,43	153,13
77	262,79	265	4	1440,00	2,41	22,65	424,64	15,41	291,29	133,36
78	262,99	265	4	1460,00	2,21	19,82	416,55	13,72	286,47	130,09
79	262,85	265	4	1480,00	2,35	21,84	420,34	14,93	288,75	131,59

DIALLO Harouna

Promotion : 2021-2022

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

N°	Côtes TN (m)	Côtes digue (m)	Largeur crête (m)	Distance (m)	H (m)	Si (m²)	Vi (m3)	Si (m²)	Vi (m3)	Vi(m3)
Profils					Digue			Noyau argileux		Latérites
80	262,96	265	4	1500,00	2,24	20,19	404,01	13,94	278,96	125,05
81	262,96	265	4	1520,00	2,24	20,21	433,78	13,95	296,75	137,03
82	262,76	265	4	1540,00	2,44	23,17	489,85	15,72	330,02	159,83
83	262,59	265	4	1560,00	2,61	25,81	573,68	17,28	378,81	194,87
84	262,24	265	4	1580,00	2,96	31,55	660,99	20,60	429,08	231,90
85	262,07	265	4	1600,00	3,13	34,54	707,17	22,31	455,34	251,83
86	261,98	265	4	1620,00	3,22	36,17	686,50	23,23	443,58	242,92
87	262,19	265	4	1640,00	3,01	32,48	638,24	21,13	416,13	222,11
88	262,25	265	4	1660,00	2,95	31,35	599,38	20,48	393,79	205,59
89	262,42	265	4	1680,00	2,78	28,59	527,76	18,90	352,18	175,58
90	262,69	265	4	1700,00	2,51	24,18	410,03	16,32	282,10	127,93
91	263,21	265	4	1720,00	1,99	16,82	392,16	11,89	271,52	120,64
92	262,81	265	4	1740,00	2,39	22,40	439,04	15,26	299,95	139,09
93	262,87	265	4	1760,00	2,33	21,51	433,61	14,73	296,71	136,89
94	262,85	265	4	1780,00	2,35	21,85	396,69	14,94	274,40	122,30
95	263,14	265	4	1800,00	2,06	17,81	369,11	12,50	257,80	111,31
96	263,04	265	4	1820,00	2,16	19,10	384,27	13,28	267,03	117,24
97	263,03	265	4	1840,00	2,17	19,33	369,33	13,42	257,92	111,40
98	263,15	265	4	1860,00	2,05	17,60	358,45	12,37	251,31	107,14
99	263,11	265	4	1880,00	2,09	18,24	406,69	12,76	280,42	126,27
100	262,81	265	4	1900,00	2,39	22,43	517,17	15,28	345,81	171,36
101	262,37	265	4	1920,00	2,83	29,29	640,16	19,30	417,09	223,07
102	262,06	265	4	1940,00	3,14	34,73	789,35	22,41	501,29	288,06
103	261,57	265	4	1960,00	3,63	44,21	994,46	27,72	614,80	379,66
104	261,06	265	4	1980,00	4,14	55,24	1210,75	33,76	732,29	478,46
105	260,61	265	4	2000,00	4,59	65,84	1409,78	39,47	838,81	570,97
106	260,24	265	4	2020,00	4,96	75,14	1354,71	44,41	809,27	545,44
107	260,84	265	4	2040,00	4,37	60,33	1074,73	36,51	658,52	416,20
108	261,43	265	4	2060,00	3,77	47,14	826,71	29,34	522,03	304,68
109	262,02	265	4	2080,00	3,18	35,53	625,21	22,86	408,31	216,89
110	262,51	265	4	2100,00	2,69	26,99	496,42	17,97	333,81	162,61
111	262,79	265	4	2120,00	2,41	22,65	388,26	15,41	269,05	119,21
112	263,26	265	4	2140,00	1,94	16,18	331,51	11,49	234,76	96,75
113	263,20	265	4	2160,00	2,00	16,97	342,22	11,98	241,36	100,85
114	263,18	265	4	2180,00	2,02	17,25	328,33	12,15	232,77	95,56
115	263,31	265	4	2200,00	1,89	15,58	295,70	11,12	212,47	83,24
116	263,44	265	4	2220,00	1,76	13,99	264,61	10,12	192,85	71,76

DIALLO Harouna

Promotion : 2021-2022

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

N°	Côtes TN (m)	Côtes digue (m)	Largeur crête (m)	Distance (m)	H (m)	Si (m²)	Vi (m3)	Si (m²)	Vi (m3)	Vi(m3)
Profils					Digue			Noyau argileux		Latérites
117	263,57	265	4	2240,00	1,63	12,48	246,24	9,16	181,15	65,09
118	263,60	265	4	2260,00	1,60	12,15	245,79	8,95	180,86	64,93
119	263,58	265	4	2280,00	1,62	12,43	251,44	9,13	184,49	66,96
120	263,55	265	4	2300,00	1,65	12,71	236,91	9,32	175,09	61,82
121	263,71	265	4	2320,00	1,49	10,98	193,10	8,19	146,33	46,77
122	263,97	265	4	2340,00	1,23	8,33	106,08	6,44	82,98	23,10
123	264,15	265	4	2354,16	1,05	6,65	37,71	5,28	30,05	7,66
124	264,20	265	4	2360,00	1,00	6,28	113,56	5,02	91,80	21,76
125	264,34	265	4	2380,00	0,86	5,08	71,81	4,16	60,38	11,43
126	264,78	265	4	2400,00	0,42	2,10	-2520,60	1,88	13,78	-2534,38
127	265,00	265	4	2410,15	0,20	0,89	-1072,52	0,84	-1012,26	-60,25
Volume total digue							90539,34		57765,01	33533,57

Synthèse du métré des protections de la digue

Désignation des travaux	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)	Quantités	Unités
Couche de couronnement	2160,15	4	0,2	1728,12	m3
Couche de pose en grave latérite amont	17309,83		0,2	3461,97	m3
Couche de pose en grave latérite aval	17601,34		0,2	3520,27	m3
Perré sec				34911,18	m2
Murs de crête en maçonneries de moellons	2160,15	0,5	0,5	540,04	m3
Béton cyclopéen pour muret parapet	2160,15	0,5	0,75	810,06	m3
Perrés secs pour drain de pied aval	2160,15		0,375	810,06	m²
Enrochements butés de pied	2160,15		0,375	810,06	m3
Filtres de transition	329,09	1,6	0,3	157,96	m3
Déblais à la main pour murs de crête et parapet				1080,07	m3
Déblais aux engins pour butée et drain aval				1620,11	m3
Perrés maçonnés jonction digue et bajoyers				252,89	m²

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Synthèse du mètre des murs bajoyers et de l'évacuateur de crue

Désignation des travaux	Unités	Murs bajoyers				Evacuateur de crues et bassin de dissipation				Chenal d'évacuation et diguettes de protection				Quantités cumulées
		Dimensions			Qtés	Dimensions			Qtés	Dimensions			Qtés	
		long	larg	ép/haut		long	larg	ép/haut		long	larg	ép/haut		
Terrassements														
Déblaiement et recalibrage du chenal d'évacuation avec mise place de cordons de protection ou dépôt définitif	m3												17290	17290
* chenal d'évacuation	m3									25	266	2,6	17290	17290
Terrassements pour ouvrages d'art														
Déblai à la main pour parafeuilles et assises ouvrages	m3				84,71				2816,41				1507,5	4408,62
* Semelles bajoyers	m3				84,71									
Semelles amont	m3	52,09		0,4	20,83									
Semelles central	m3	28		1	28									
Semelles aval	m3	89,69		0,4	35,88									
* Parafeuilles du seuil déversant	m3					250	3,35	1,44	1203,91					
* Assise déversoir Greager	m3					250	8,75	0,4	875					
* Bassin de dissipation	m3					250	5	0,5	625					
* Bèche terminal du bassin dissipation	m3					250	0,4	0,3	60					
* Déblai pour lit d'enrochements du chenal d'évacuation	m3									250	10	0,6	1500	
* Muret de blocage	m3					250	0,7	0,3	52,5	50	0,5	0,3	7,5	
Bétons et divers														

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Désignation des travaux	Unités	Murs bajoyers				Evacuateur de crues et bassin de dissipation				Chenal d'évacuation et diguettes de protection				Quantités cumulées
		Dimensions			Qtés	Dimensions			Qtés	Dimensions			Qtés	
		long	larg	ép/haut		long	larg	ép/haut		long	larg	ép/haut		
Béton de type "B1" pour béton de propreté dosé à 150 kg/m3 pour semelles bajoyers	m3	169,77		0,1	16,98									16,98
Béton de type "B2" pour béton cyclopéen dosé à 250 kg/m3 y compris coffrage pour muret déversant	m3								8075					8075
* Parafoilles du seuil déversant	m3					250	3,35	1,44	1203,91					
* Assise déversoir Greager	m3					250	8,75	0,3	656,25					
* Massif déversant	m3					250	4,63	10,75	6214,84					
Béton de type "B3" pour béton ordinaire dosé à 300 kg/m3 y compris coffrage pour seuil terminal	m3								21				7,5	28,5
* muret de blocage des protections en perrés des talus du chenal d'évacuation	m3					100	0,7	0,3	21	50	0,5	0,3	7,5	
Gabions de blocage des enrochements du bassin de dissipation	m3													
Béton de type "B4" pour béton armé dosé à 350 kg/m3 y compris coffrage pour	m3				357,43				922,5				0	1279,93
* semelles bajoyers	m3				135,46									135,46
Semelles amont	m3	52,09		0,3	31,25									

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Désignation des travaux	Unités	Murs bajoyers				Evacuateur de crues et bassin de dissipation				Chenal d'évacuation et diguettes de protection				Quantités cumulées
		Dimensions			Qtés	Dimensions			Qtés	Dimensions			Qtés	
		long	larg	ép/haut		long	larg	ép/haut		long	larg	ép/haut		
Semelles central	m3	28		0,9	50,4									
Semelles aval	m3	89,69		0,3	53,81									
Murs bajoyers					221,96									221,96
* plot amont	m3	18,94	7,25	0,3	82,39									
* plot central	m3	3,5	11	0,3	23,1									
* plot aval 1	m3	17,5	7,25	0,3	76,13									
* plot aval 2	m3	7	3,5	0,3	14,7									
* écran anti-renard	m3	9,5	4,5	0,3	25,65									
* Radier bassin de dissipation	m3					250	5	0,4	500					
* Bèche terminale du bassin dissipation	m3					250	0,48	1,21	422,5					
Acier HA TOR pour béton armé	kg													15545
Étanchéités et joints														
Joint de mastic bitumineux	ml				47,6				456,25					503,85
* seuil déversant de profil Creager et coursier	ml					8,25	25		206,25					
* bassin de dissipation	ml					250		1	250					
* ailes bajoyers	ml	11,9	4		47,6									
Joint d'étanchéité type waterstop ou similaire	ml				47,6				456,25					503,85
*Jonction déversoir et bassin de dissipation	ml													
* seuil déversant de profil Creager et coursier	ml													
* bassin de dissipation	ml													
* ailes bajoyers	ml	11,9	4		47,6									
Echelle liminométrique	ml				7,24									7

DIALLO Harouna

Promotion : 2021-2022

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

Désignation des travaux	Unités	Murs bajoyers				Evacuateur de crues et bassin de dissipation				Chenal d'évacuation et diguettes de protection				Quantités cumulées
		Dimensions			Qtés	Dimensions			Qtés	Dimensions			Qtés	
		long	larg	ép/haut		long	larg	ép/haut		long	larg	ép/haut		
Enduit bitumineux sur parement amont	m2					250	8,25		2062,5					2062,5
Conduites pvc et robinetteries														
Tuyau PVC diamètre 50 mm pour éjecteurs pour bassin de dissipation	ml					0,4	250		100					100
Protection et enrochements														
Filtre de sable sous bassin de dissipation	m3					250	5	0,2	250					250
Filtre de gravier sous les enrochements chenal d'évacuation	m3									250	10	0,2	500	500
Enrochements rangés	m3									250	10	0,3	750	750
Maçonneries de moellons sur bajoyers centraux et aval	m3	18,07	15		271,02									271,02
Gabions 2,00mx1,00 mx0,50 m	u								250					250

Synthèse du métré de la diguette de protection

Désignation des travaux	Long (m)	Larg (m)	Epaisseur (m)	Quantités
Décapage sur 20 cm				1640
Remblais compactés				1066
Couche de couronnement (m3)	100	3	0,2	120
Couche de pose en grave latérite (m3)	100	6,5	0,2	130
Revêtement latéritique aval digue (m3)	100	6,5	0,2	130
Perré sec (m²)	100	6,5		1050
* talus diguettes	100	6,5		650
* drain aval	100	4		400
Murs de crête en maçonneries de moellons (m3)	100	0,5	0,5	50
Enrochements butés de pied (m3)	100		0,36	36
Déblais à la main pour murs de crête (m3)	100	0,5	0,5	50
Déblais aux engins pour butée (m3)	100			36
Déblais manuels pour muret blocage (m3)				21
Béton ordinaire pour muret de blocage (m3)	100	0,7	0,3	21

Devis quantitatif et estimatif

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix Total (FCFA)
I	Installation et fonctionnement du chantier				
I.1	Amenée et repli du matériel	Km	1200,00	1500	1 800 000
I.2	Installation du chantier	FF	1,00	10 000 000	10 000 000
I.3	Implantation du Projet	FF	1,00	100 000	100 000
I.4	Elaboration du dossier d'exécution	FF	1,00	3000 000	3000 000
I.5	Laboratoire de chantier et fonctionnement	Mois	15,00	3000 000	45 000 000
I.6	Repliement de chantier	Km	1200,00	1500	1 800 000
	Sous-total I				61 700 000
II	Tranchée d'ancrage et fondation				
II.1	Déblai avec mise en place de cordons de protection ou dépôt définitif	m3	14539,21	4000	58 156 843
II.2	Déblais en terrain dur	m3	1000,00	30000	30 000 000
II.3	Remblais argileux compactés aux engins	m3	14539,21	7000	101 774 476
	Sous-total II				189 931 319
III	Digue				
III.1	Débroussaillage-décapage (min 20 cm)	m2	50321,60	300	15 096 481
III.2	Déblai avec mise en place de cordons de protection ou dépôt définitif	m3	157,96	5000	789 816
III.3	Remblais argileux compactés	m3	50544,10	6000	303 264 613
III.4	Remblais graveleux latéritiques compactés	m3	27734,01	6000	166 404 081
III.5	Plus-value pour distance de transport des remblais argileux	m3.hm	100000,00	3000	300 000 000

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix Total (FCFA)
III.6	Couche de couronnement	m3	1768,12	6000	10 608 710
III.7	Couche de pose en grave latérite	m3	6982,24	4000	27 928 940
III.8	Déblais à la main pour parafouilles et assises d'ouvrages	m3	1105,07	5000	5 525 370
III.9	Béton ordinaire de type "B3" dosé à 300kg/m3	m3	828,81	100000	82 880 550
III.10	Tuyau PVC de diamètre 125 pour décharge crête	Ml	241,01	5000	1 205 074
III.11	Perré sec (épaisseur = 25cm)	m²	34911,18	8000	279 289 403
III.12	Perrés maçonnés (ép-25 cm)	m²	252,89	10000	2 528 873
III.13	Maçonnerie de moellons	m3	552,54	60000	33 152 220
III.14	Enrochements rangés	m3	828,81	25000	20 720 138
III.15	Sable pour filtres	m3	3527,69	8500	29 985 328
III.16	Filtres de transition	m3	157,96	15000	2 369 448
	Sous-Total III				1 281 749 046
IV	Evacuateur de crue				
IV.1	Déblai avec mise en place de cordons de protection ou dépôt définitif	m3	17290	5000	86 450 000
IV.2	Déblais à la main pour parafouilles et assises d'ouvrages	m3	4408,62	6000	26 451 692
IV.3	Béton de propreté de type "B1" dosé à 150 kg/m3	m3	16,98	60000	1 018 635
IV.4	Béton cyclopéen de type "B2" dosé à 250 kg/m3	m3	8075	90000	726 750 000
IV.5	Béton ordinaire de type "B3" dosé à 300kg/m3	m3	28,5	100000	2 850 000
IV.6	Béton armé de type "B4" dosé à 350 kg/m3	m3	1279,93	150000	191 989 125
IV.7	Acier HA TOR pour béton armé	Kg	15545	500	7 772 500
IV.8	Joint de mastic bitumineux	Ml	503,85	6000	3 023 100
IV.9	Joint d'étanchéité type water stop ou similaire	Ml	503,85	50000	25 192 500
IV.10	Enduit bitumineux sur parement amont	m²	2062,5	6000	12 375 000
IV.11	Tuyau PVC évacuation diamètre 50 mm	Ml	100	5000	500 000
IV.12	Maçonneries de moellons	m3	271,02	35000	9 485 685
IV.13	Enrochements rangés	m3	750	25000	18 750 000
IV.14	Filtre de sable calibré sous bassin de dissipation	m3	250	25000	6 250 000
IV.15	Gravier calibré 5/15 pour matériaux de transition sous enrochements	m3	500	25000	12 500 000
IV.16	Gabions rangés de 2,00 mx1,00 mx0,50 m	m3	250	50000	12 500 000
	Sous-Total IV				1 143 858 237
V	Ouvrage de prise				
V.1	Déblais à la main pour parafouilles et assises d'ouvrages	m3	255,56	5000,00	1 277 780

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix Total (FCFA)
V.2	Béton de propreté de type "B1" dosé à 150 kg/m3	m3	6,93	60000	415 680
V.3	Béton ordinaire de type "B3" dosé à 300kg/m3	m3	45,67	100000	4 567 281
V.4	Béton armé de type "B4" dosé à 350 kg/m3	m3	32,74	150000	4 911 000
V.5	Conduite en acier DN 400 mm et accessoires	Ml	65,80	100000	6 580 000
V.6	Robinet vanne DN 400 mm et accessoires	Unité	2,00	300000	600 000
V.7	Crépine DN 400 mm et accessoires	Unité	2,00	200000	400 000
V.8	Grille de protection des bacs amont et aval	Unité	4,00	3600000	14 400 000
V.9	Echelle de descente en fer HA 12 dans les bacs	Unité	4,00	350000	1 400 000
V.10	Perrés maçonnés	m3	20,18	10000	201 800
V.11	Enrochements rangés	m3	5,46	100000	546 000
V.12	Filtre de sable calibré	m3	22,61	15000	339 150
V.13	Gravier calibré 5/15 pour matériaux de transition	m3	2,04	35000	71 400
	Sous-Total V				35 710 091
VI	Ouvrage de vidange				
VI.1	Débroussaillage-décapage (min 20 cm)	m²	73,42	300	22 026
VI.2	Déblai avec mise en place de cordons de protection ou dépôt définitif	m3	150	5000	750 000
VI.3	Déblais à la main pour parafoilles et assises d'ouvrages	m3	131,2572	6000	787 543
VI.4	Béton de propreté de type "B1" dosé à 150 kg/m3	m3	5,2372	60000	314 232
VI.5	Béton ordinaire de type "B3" dosé à 300kg/m3	m3	24,796026 1	100000	2 479 603
VI.6	Béton armé de type "B4" dosé à 350 kg/m3	m3	25,724	150000	3 858 600
VI.7	Conduite en acier enrobé DN 800 mm	Ml	36,71	1000000	36 710 000
VI.8	Fourniture et pose de crépine DN 800mm	Unité	1	500000	500 000
VI.9	Grilles de protection	Unité	2	1000000	2 000 000
VI.10	Echelle de descente dans la chambre des vannes	Unité	1	100000	100 000
VI.11	Fourniture et pose de passerelle métallique	Unité	1	500000	500 000
VI.12	Portique IPN 160	Unité	1	400000	400 000
VI.13	Vanne murale DN 800 mm	Unité	1	750000	750 000
VI.14	Perrés maçonnés	m3	10,09	10000	100 900
VI.15	Enrochements rangés	m3	2,73	25000	68 250
VI.16	Filtre de sable	m3	26,79	15000	401 850
VI.17	Gravier calibré 5/15 pour transition	m3	2,28	35000	79 800
	Sous-Total VI				49 822 804
VII	Diguettes de protection				
VII.1	Débroussaillage-décapage (min 20 cm)	m²	1640	300	492 000

Etudes techniques pour la réhabilitation du barrage de Péelé, dans la commune de Koubri,
Région du Centre, Burkina Faso

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix Total (FCFA)
VII.2	Déblai avec mise en place de cordons de protection ou dépôt définitif	m3	72	5000	360 000
VII.3	Remblais argileux compactés	m3	1066	7500	7 995 000
VII.4	Couche de couronnement	m3	120	120000	14 400 000
VII.5	Couche de pose en grave latérite	m3	130	6000	780 000
VII.6	Revêtement latéritique aval	m3	130	10000	1 300 000
VII.7	Débais à la main pour parafoilles et assises d'ouvrages	m3	57	7000	399 000
VII.8	Béton ordinaire de type "B3" dosé à 300kg/m3	m3	21	100000	2 100 000
VII.9	Perré sec (épaisseur = 25cm)	m²	1050	8000	8 400 000
VII.10	Perrés maçonnés	m²	50	10000	500 000
VII.11	Enrochements rangés	m3	36	25000	900 000
Sous-Total VII					37 626 000
VIII	Dispositifs d'auscultation				
VIII.1	Echelle limnométrique	MI	13	200000	2 600 000
VIII.2	Repères de nivellement sur l'évacuateur de crues	Unités	3	125000	375 000
VIII.3	Repères de nivellement sur le couronnement de la digue	Unités	6	125000	750 000
Sous-Total VIII					3 725 000
IX	Mesures de protection du plan d'eau				
IX.1	Bornage de la limite des Plus Hautes Eaux (PHE)	Unités	120	200000	23 960 000
Sous-Total IX					23 960 000
X	Plan de Gestion de l'Environnement et Social				
Sous-Total					33 478 613
TOTAL GENERAL HT					2 861 561 110
TVA (18%)					515 081 000
TOTAL GENERAL TTC					3 376 642 110

Annexe VIII : Pièces graphiques

- ❖ Plan de masse du barrage de Péelé ;
- ❖ Profil en long de l'axe du barrage de Péelé ;
- ❖ Vue de dessus et profil en travers types de l'évacuateur de crue ;
- ❖ Vue en plan et coupe de l'ouvrage de prise ;
- ❖ Vue en plan et coupe de l'ouvrage de vidange ;
- ❖ Profil en travers type de la digue du barrage de Péelé ;
- ❖ Plan de ferrailage des murs bajoyers.

2iE

ETUDES AVANT PROJET DETAILLEE DES TRAVAUX
DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE PEELE

MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT
SECRETRARIAT GENERAL
DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES
HYDRAULIQUES

Echelle

Date

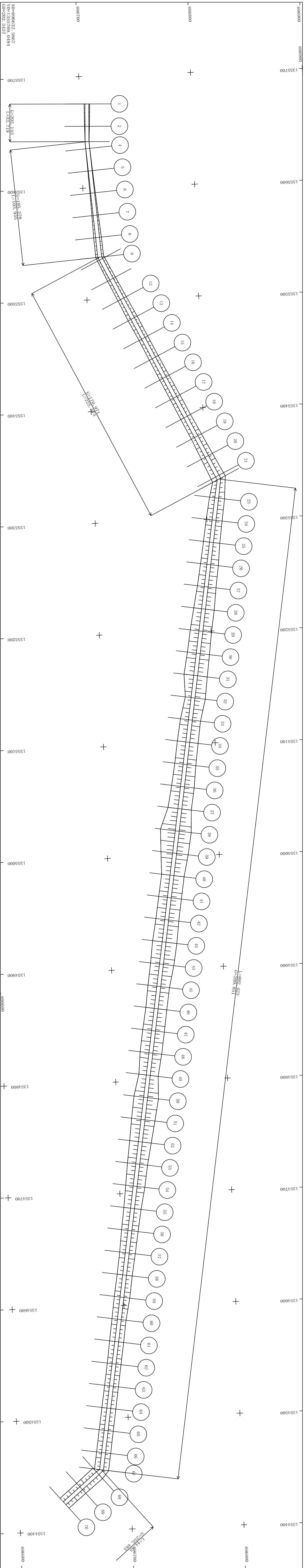
1/100

Décembre 2021

Réalisé par :

Harouna DIALLO

PROJET EN LONG DE LA DIGUE
DE PEELE



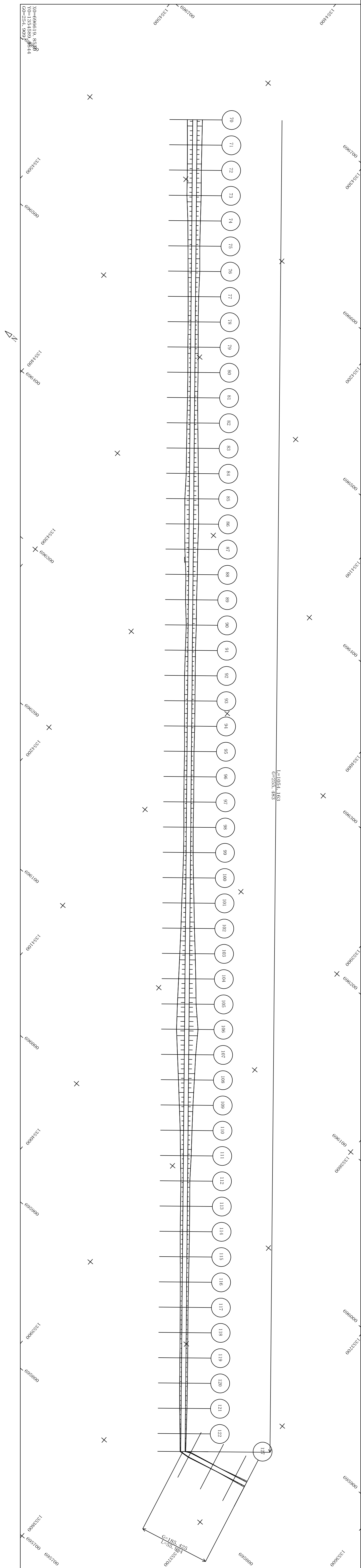
PLAN DE COMPARAISON				COTE Digue = 265	
	240				
COTES TERRAIN					
265.00	264.74	2			
20	15.7	264.50	3		
265.00	264.42	4			
20					
265.00	264.23	5			
20					
265.00	264.00	6			
20					
265.00	263.70	7			
20					
265.00	263.42	8			
17.65					
265.00	263.25	9			
20					
265.00	263.03	11			
20					
265.00	262.85	12			
20					
265.00	262.57	13			
20					
265.00	262.69	14			
20					
265.00	262.72	15			
20					
265.00	262.56	16			
20					
265.00	262.44	17			
20					
265.00	262.38	18			
20					
265.00	262.15	19			
20					
265.00	261.90	20			
20					
265.00	261.41	21			
20					
265.00	261.30	22			
16.97					
265.00	261.14	23			
20					
265.00	260.49	24			
20					
265.00	260.65	25			
20					
265.00	260.41	26			
20					
265.00	259.96	27			
20					
265.00	259.10	28			
20					
265.00	259.44	29			
20					
265.00	258.88	30			
20					
265.00	258.76	31			
20					
265.00	258.26	32			
265.00	258.26				
265.00	258.03	33			
20					
265.00	257.87	34			
20					
265.00	257.70	35			
20					
265.00	257.78	36			
20					
265.00	257.62	37			
20					
265.00	255.84	38			
20					
265.00	255.60	39			
20					
265.00	257.16	40			
20					
265.00	257.47	41			
20					
265.00	257.46	42			
20					
265.00	257.21	43			
20					
265.00	257.69	44			
20					
265.00	810.00				
265.00	810.00				
265.00	820.00	257.73	45		
20					
265.00	840.00				
20					
265.00	850.00				
20					
265.00	850.00				
20					
265.00	860.00				
20					
265.00	880.00				
20					
265.00	900.00				
20					
265.00	920.00	258.54	50		
20					
265.00	940.00				
20					
265.00	960.00				
20					
265.00	980.00				
20					
265.00	1000.00				
20					
265.00	1020.00	260.51	55		
20					
265.00	1040.00				
20					
265.00	1060.00	260.83	57		
20					
265.00	1080.00				
20					
265.00	1100.00	260.92	59		
20					
265.00	1120.00	261.51	60		
20					
265.00	1140.00				
20					
265.00	1160.00	261.52	62		
20					
265.00	1180.00				
20					
265.00	1200.00	261.47	64		
20					
265.00	1220.00				
20					
265.00	1240.00	261.41	66		
20					
265.00	1255.45	261.41	67		
265.00	1260.00	261.44	68		
20					
265.00	1280.00				
20					
265.00	1300.00	261.61	70		
20					

ETUDES AVANT PROJET DETAILLEE DES TRAVAUX
DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE PELLE

PROFIL EN LONG DE LA DIGUE

Harouna DIALLO

1/100



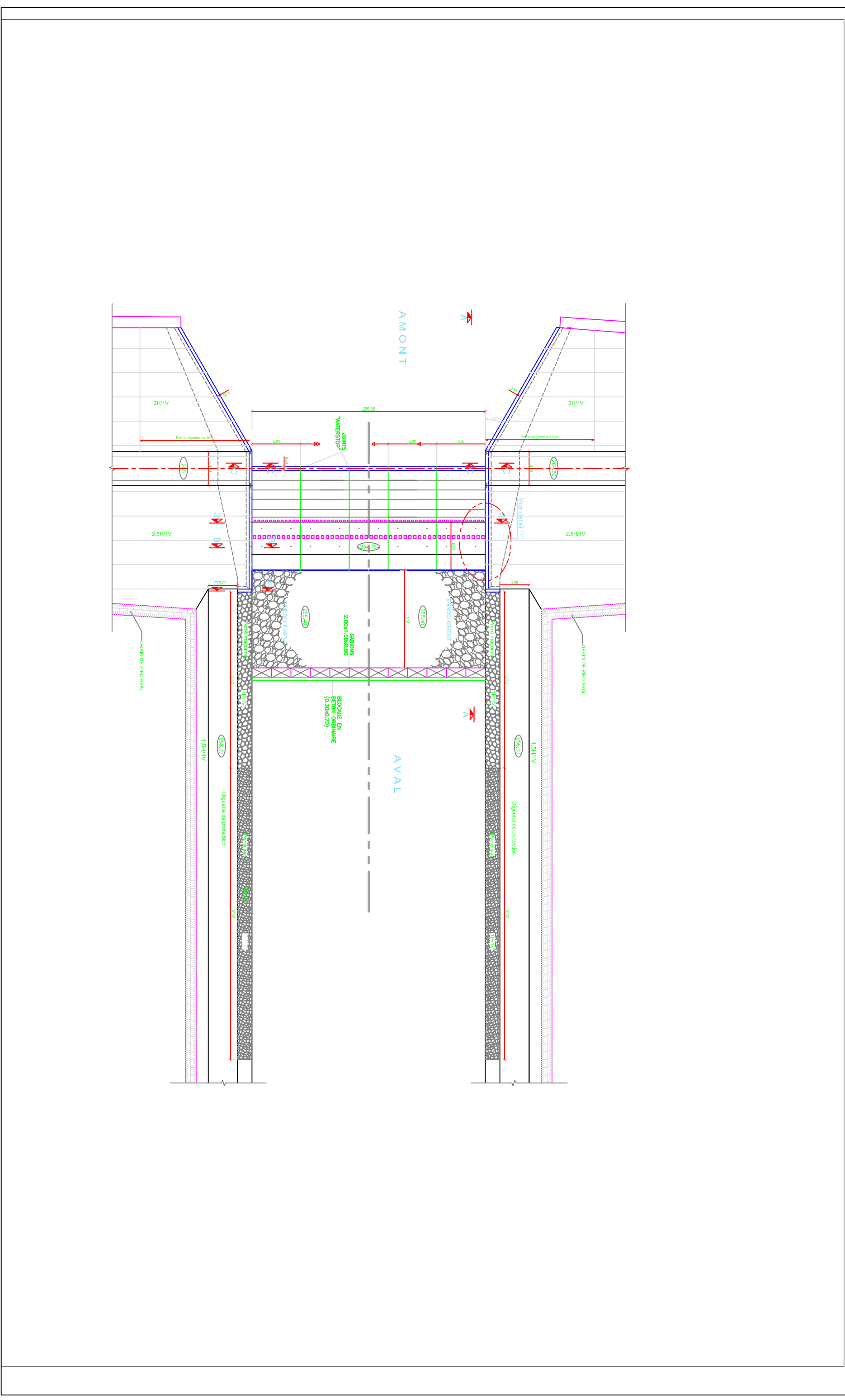
MUR PARAPET = 265.50

COTE DIGUE = 265.00



PLAN DE COMPARAISON

[illegible]



MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL

DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES
HYDRAULIQUES



ETUDES AVANT PROJET DETAILLEE DES TRAVAUX
DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE PELLE

EVACUATEUR DE CRUES

Vue en plan

Echelle

Date

Réalisé par :

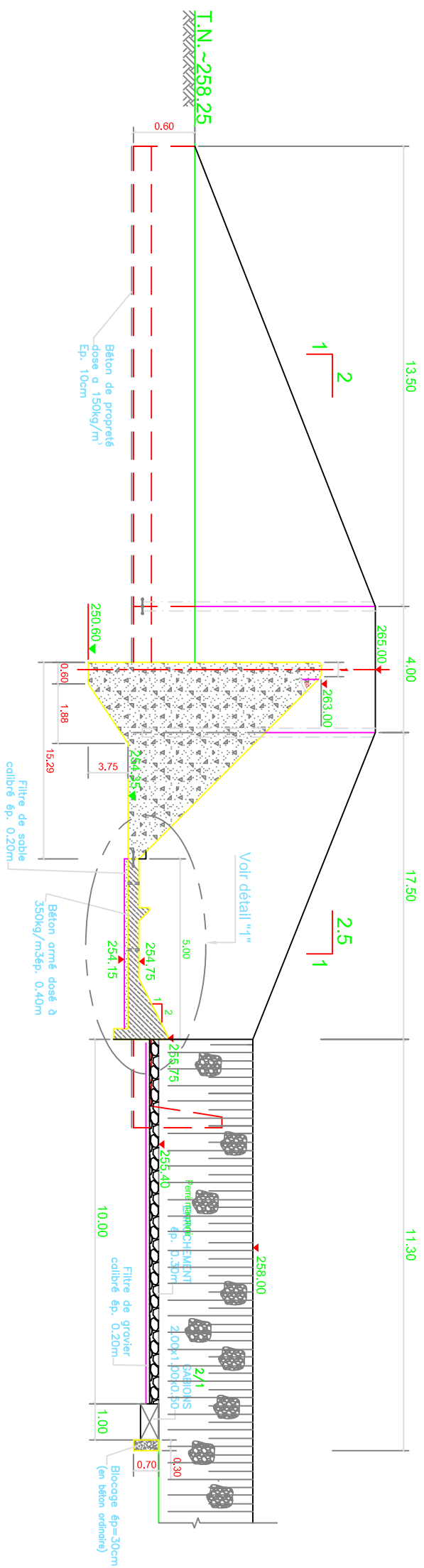
Harouna DIALLO

1/100

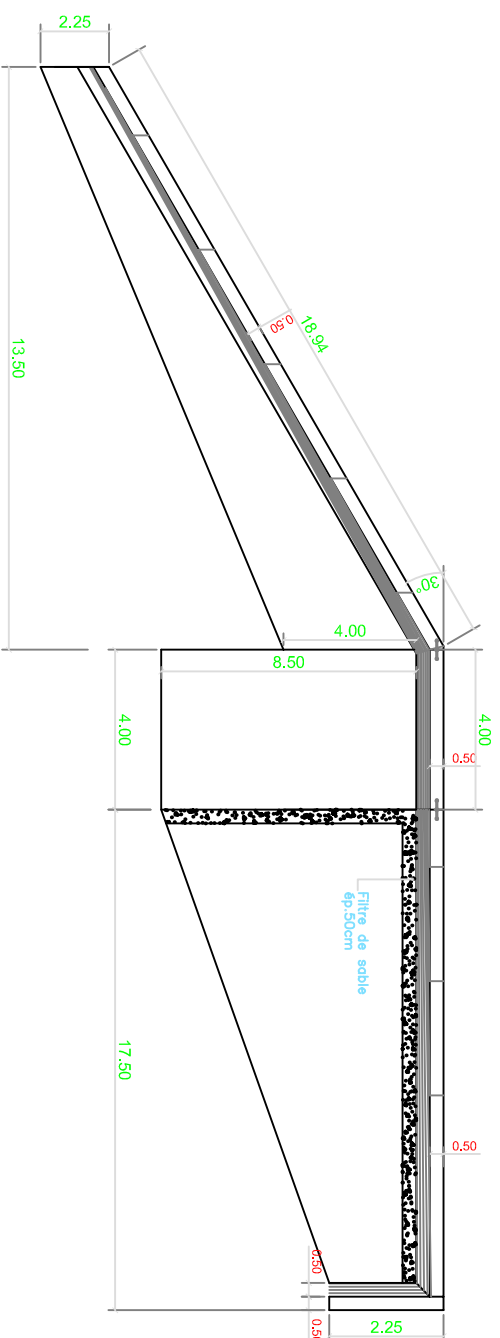
Décembre 2021

Plan n°3

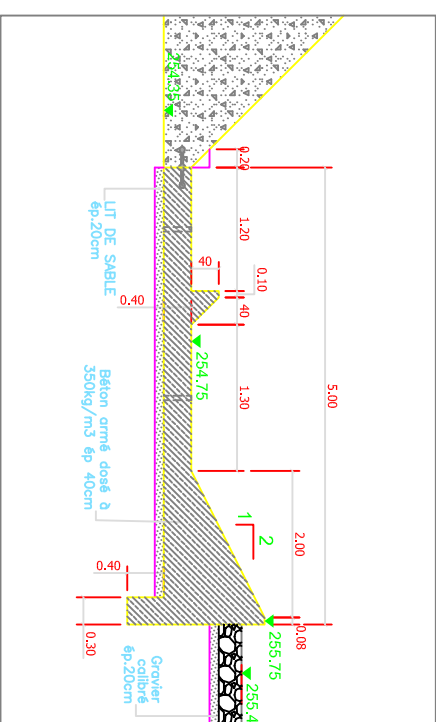
COUPE AA



MUR BAJOYER - vue en plan



Détail "1"
ECH 1/50



MINISTÈRE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

SÉCRÉTARIAT GÉNÉRAL

DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES



**ETUDES AVANT PROJET DETAILLEE DES TRAVAUX
DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE PEELE**

EVACUATEUR DE CRUES

Echelle

Date _____

Réalisé par :

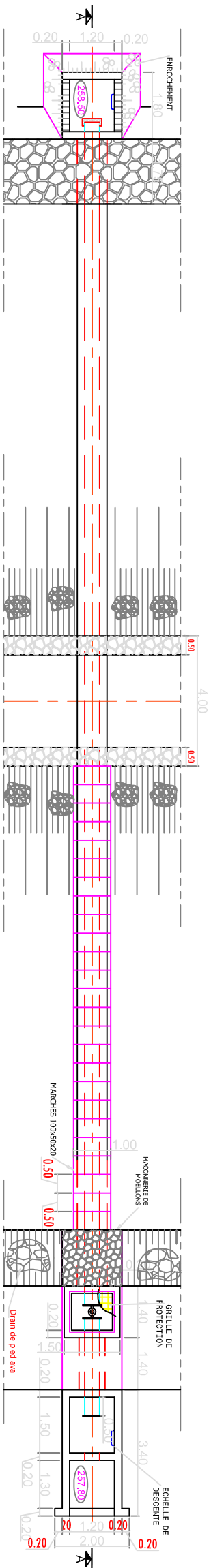
Coupes

1/100

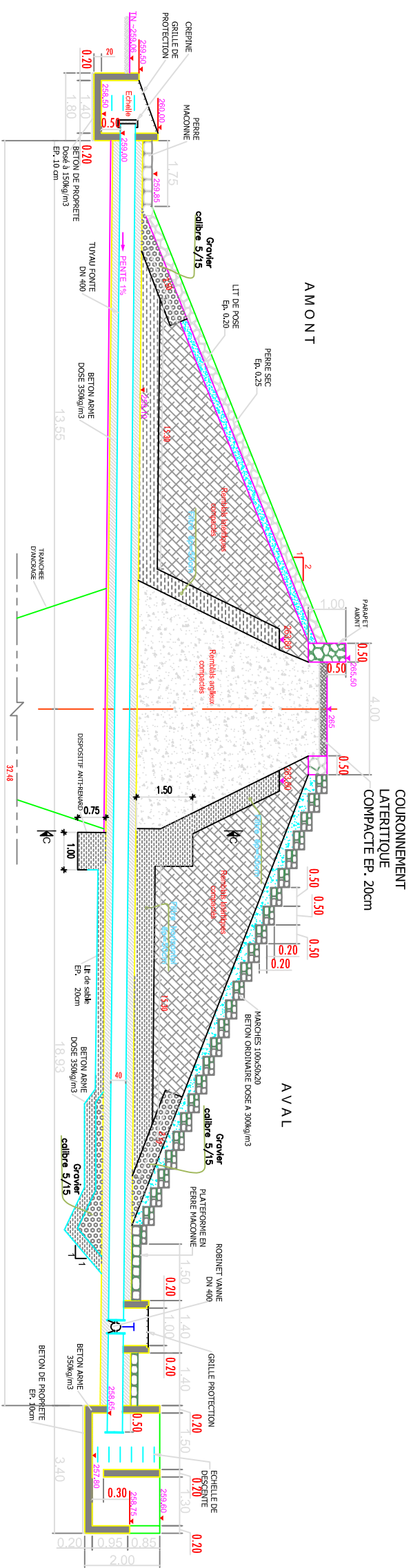
Décembre 2021

Plan n°3 bis

VUE EN PLAN



COUPE AA



MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

SÉCRÉTARIAT GÉNÉRAL

DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES
HYDRAULIQUES



ETUDES AVANT PROJET DETAILLEE DES TRAVAUX
DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE PELLE

OUVRAGE DE PRISE
Vue en plan et coupe

Echelle

Date

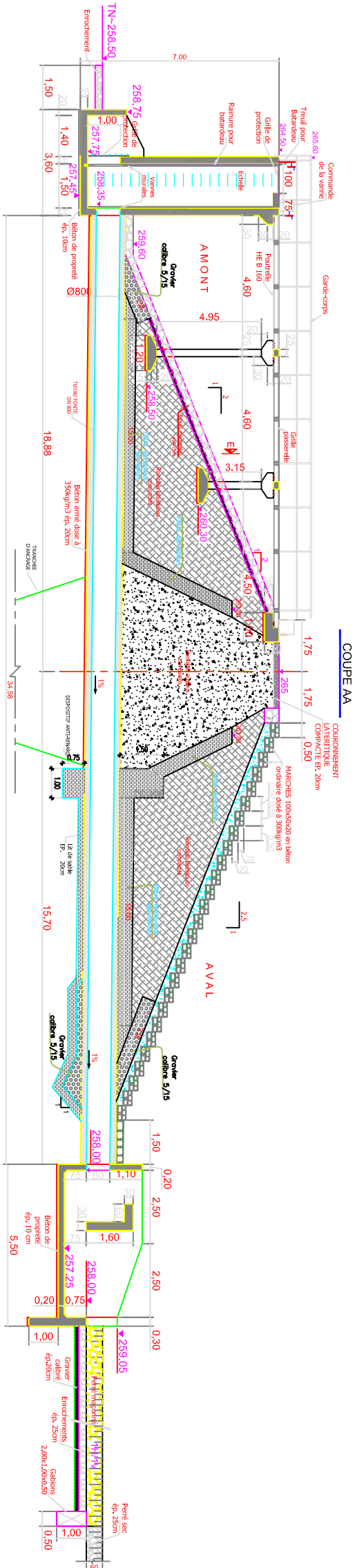
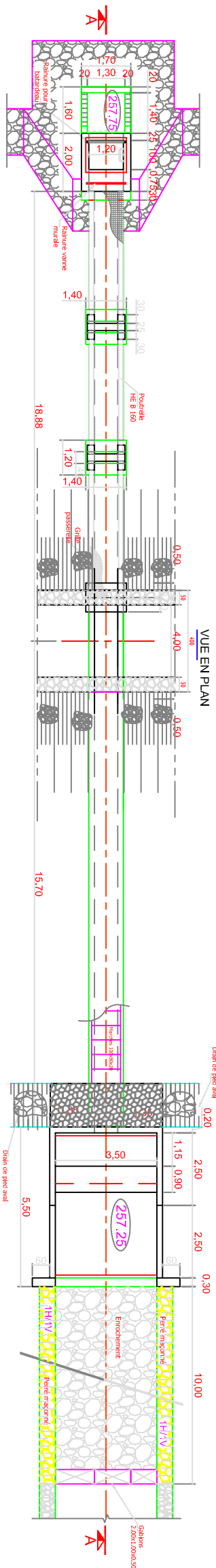
Réalisé par :

Harouna DIALLO

1/100

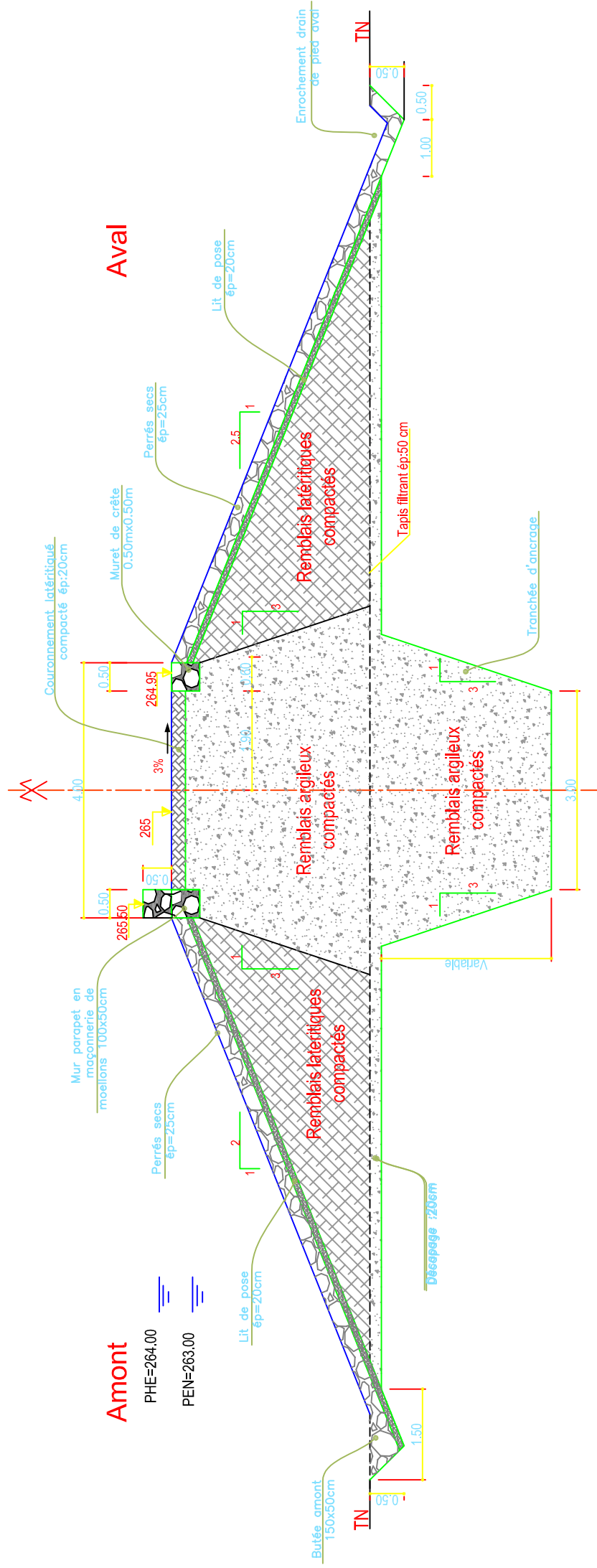
Décembre 2021

Plan n°4

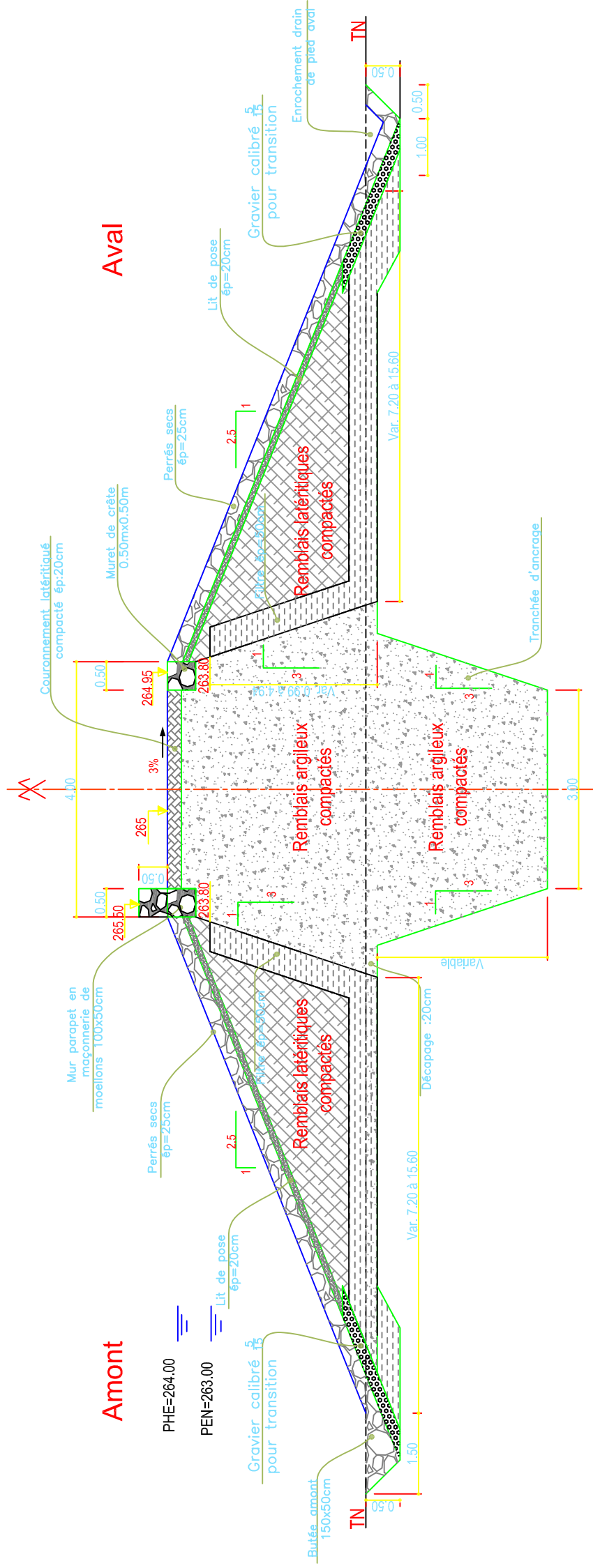


MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT		ETUDES AVANT PROJET DETAILLEE DES TRAVAUX DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE PELLE	
DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES		OUVRAGE DE VIDANGE	
SÉCRÉTARIAT GÉNÉRAL		Echelle	Date
1/100		1/100	Décembre 2021
Harouna DIALLO		Réalisé par :	Plan n°5

Profil en travers type 2 Sans tapis filtrant



Profil en travers type 1 Avec tapis filtrant



MINISTRE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT _____ SÉCRÉTARIAT GÉNÉRAL _____ DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES	 	ETUDES AVANT PROJET DETAILLEE DES TRAVAUX DE RECONSTRUCTION DU BARRAGE DE PEELE			DIGUE	Echelle	Date	Réalisé par :	
		PROFIL EN TRAVERS TYPE						1/100	Décembre 2021
					Plan n°6				

Plan de ferrillage du mur bajoyer Péelé

Norme: BAEL-91 (R-99) (France)

Béton: B25

Acier des barres: Fe E500

Type de fissuration: Préjudiciable

Enrobage sur le parement avant: 3.0 cm

Enrobage sur le parement arrière: 3.0 cm

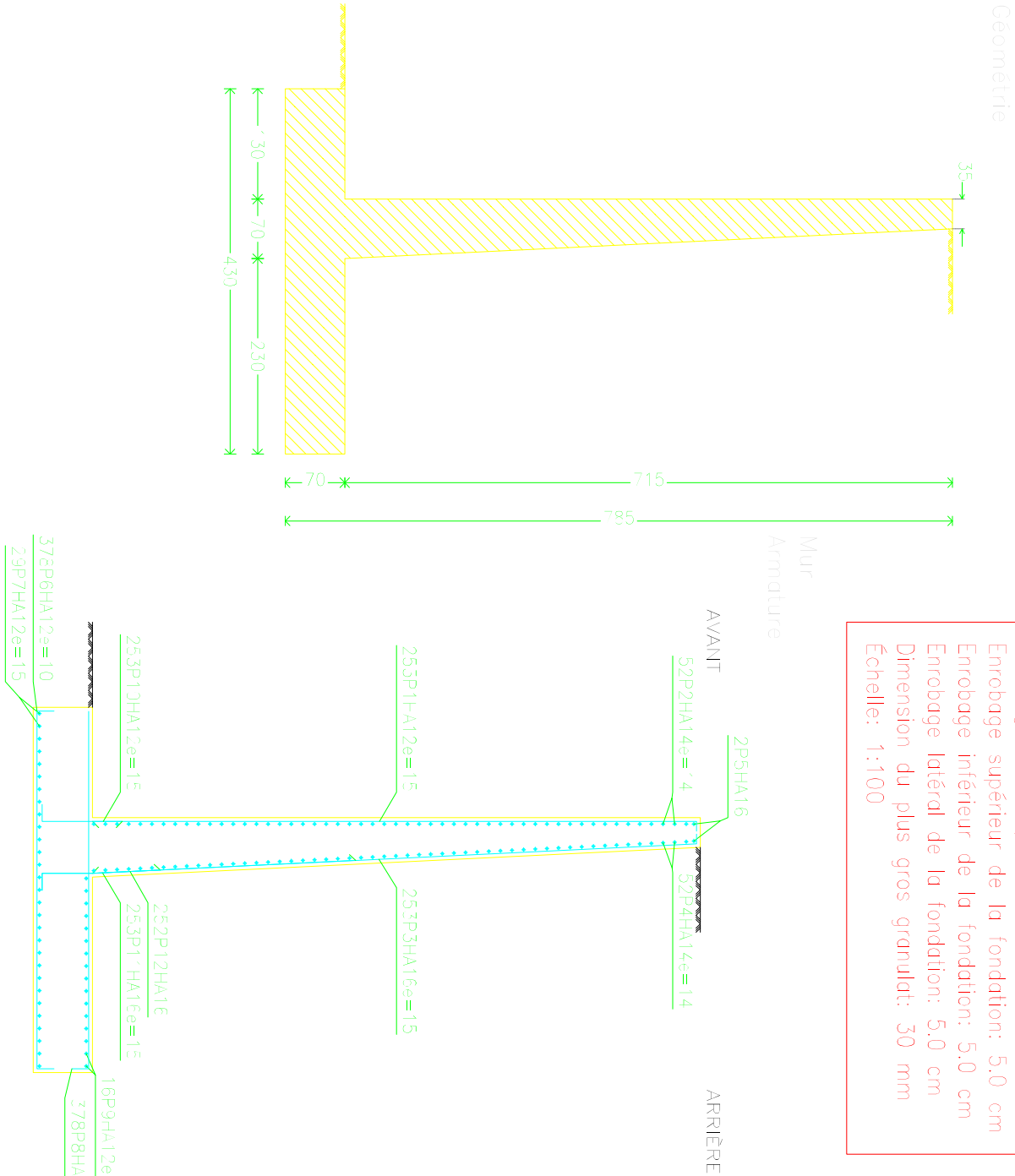
Enrobage supérieur de la fondation: 5.0 cm

Enrobage inférieur de la fondation: 5.0 cm

Enrobage latéral de la fondation: 5.0 cm

Dimension du plus gros granulat: 30 mm

Échelle: 1:100



Mur					
POSITION	ø mm	NBRE. PIÈCES	LONGUEUR m	FAÇONNAGE L=cm	LONGUEUR TOTAL m
1	2	252	7.34	709	1858.03
2	4	52	37.70	3770	1960.40
3	6	252	7.35	710	1859.67
4	4	52	37.70	3770	1960.40
5	6	2	37.70	3770	75.40
6	2	378	4.59	419	1734.26
7	2	29	37.70	3770	1093.30
8	6	378	4.44	419	1678.00
9	2	6	37.70	3770	603.22
10	2	252	1.37	97	346.61
11	6	252	1.82	62	459.72
12	6	252	4.12	310	1037.50
			HA12	5635.40	0.89
			HA14	3920.80	1.21
			HA16	5110.29	1.55
Fe E500			Poids total	17807.00	
			Poids total avec chutes (10.00%)	19587.70	

