



**ETUDE TECHNIQUE POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE
DE SINAOU DANS LA COMMUNE DE OUASSA-PEHUNCO,
DEPARTEMENT DE L'ATTACORA AU BENIN**

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

Options Infrastructures et Réseaux Hydrauliques

Présenté et soutenu publiquement le 06/07/2019 par :

Abdoul Fatahou COMPAORE 2016 0395

Directeur de mémoire : **Moussa LO**, Enseignant à 2iE, au Département Génie Civil et Hydraulique (G.C.H).

Maître de stage : **David ZOUNGRANA**, Ingénieur Génie Civil-Hydraulicien à GESEB

Structure d'accueil : Générale Service du Burkina (GESEB)

Jury d'évaluation du Stage :

Président : Dr. Dial NIANG

Membres : Dr. FOWE TAZEN

M. Célestin OVONO MEZUI

M. Moussa **LO**

DEDICACE



***A TOUTE MA
FAMILLE***

REMERCIEMENTS

J'adresse mes sincères remerciements à :

- Tout le corps professoral de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour la qualité de la formation qui nous a été dispensée durant tout notre cursus,
- Mon directeur de mémoire, Monsieur Moussa LO pour son encadrement, pour sa disponibilité et son accompagnement durant tout le stage malgré son calendrier très chargé ;
- A Générale Service du Burkina (GESEB) pour m'avoir accueilli pour mon stage ;
- Mon maître de stage M. ZOUNGRANA Kiswensida David pour son encadrement et son suivi régulier durant la période du stage ;
- Tout le personnel de GESEB pour leur soutien et leur disponibilité ;
- Tous mes amis et proches pour leurs aides.

RESUME

Ce mémoire présente les résultats des études techniques détaillées pour la réalisation du barrage de Sinaou à vocation agropastorale.

Afin de contribuer à booster l'agriculture au Bénin, le gouvernement béninois se donne pour mission la construction de quatre (04) barrages dont celle de Sinaou dans le cadre du projet de Développement des Infrastructures Socio-économiques et de Sécurité Alimentaire (PDISSA). Pour aboutir aux objectifs poursuivis, la présente étude a diagnostiqué, analysé et exploité les résultats détaillés des études techniques de base suivantes : la climatologie de la région, l'hydrologie du bassin versant, la topographie et la géotechnique du site.

La digue à réaliser est en remblai homogène latéritique sur une tranchée d'ancrage qui varie de 0,50 m à 3,00 m de profondeur. Elle mesure 614 m de long sans le déversoir et a une hauteur maximale de 9,8 m (côte de la crête : 349,8 ; cote du fond de la cuvette : 340). La digue présente des talus amont et aval ayant la même pente 1V/2H. La cuvette se situe à l'exutoire d'un bassin versant de 56 km². Le barrage dispose d'un déversoir en béton de type-poids, long de 120 m, en position centrale. Le déversoir est conçu pour évacuer une crue centennale de 148 m³/s. Deux murs bajoyers de 11,00 m de hauteur servent de jonction entre le déversoir et la digue. Un ouvrage de prise (servant de vidange), calé à la côte 343,4 m permet l'irrigation d'un futur périmètre irrigué en aval de superficie 40 ha. L'ouvrage proposé permet de stocker un volume de 1 898 990 m³ au PEN.

Le coût de l'ouvrage est évalué à 1 886 275 583 (Un milliard huit cent quatre-vingt-six million deux cent soixante-quinze mille cinq cent quatre-vingt-trois) f cfa toutes taxes comprises.

Mots clés :

- 1- Barrage de Sinaou
- 2- Retenue d'eau
- 3- Déversoir poids
- 4- Digue homogène
- 5- PDISSA

ABSTRACT

This thesis presents the technical detailed results of technical and final studies for the realization of the Sinaou dam. The water stored by the dam will be mostly used for animals and agricultural needs.

In order to boost agriculture in Benin, the government of Benin gives itself for mission to build four (04) dams including that of Sinaou in the context of food Security and Socio-Economic Infrastructure of Development Project (FSSIDP).

To achieve the objectives pursued the present study has diagnosed, analysed and exploited the following detailed results of the technical base studies :the climatology of the region, hydrography of watershed, topography and geotechnics of the site. The dike to be built is homogeneous and will be done by a lateric reloading on an anchor trench that varies from 0.5m to 3 m deep. The flood sluice measures 160 meters of long and is frontal and is a concrete-made. Its discharge is to evacuate 148 cubic meters per second of water.

The dike is 614 m longer is set at the coast of 350.2 m and has 10.00 m as crest width.

The dam allows the storage of 1 892 990 cubic meter of water and will satisfy human and animals needs and also the irrigation of ha.40

A socket structure located on the right bank and 64 m long with a diameter of 800 mm will be made.

The global cost of the dam is estimated to 1 886 275 583 CFA F any taxes included.

Key Words

- 1- Sinaou Dam
- 2- Water retention
- 3- Spillway
- 4- Homogeneous Dike
- 5- PDISSA

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
GESEB	: Général Service du Burkina
EIES	: Eude d'Impact Environnemental et Social
ET₀	: Évapotranspiration de Reference
ETM	: Évapotranspiration Maximale
Pe	: Pluie Efficace
CIEH	: Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GPS	: Global Positioning System
Kc	: Coefficient cultural
INSD	: Institut National de la Statistique et de la Démographie
IRD	: Institut de Recherche et de Développement (Ex Orstom)
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
UBT	: Unité de Bétail Tropical
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat
RD	: Rive Droite
RG	: Rive Gauche
TN	: Terrain Naturel
PEN	: Plan d'Eau Normal
PGES	: Plan de Gestion Environnemental et Social
PDISSA	: Projet de Développement des infrastructures socioéconomiques et de Sécurité Alimentaire
PHE	: Plus Hautes Eaux

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vi
TABLE DES MATIERES	vii
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
I. Introduction	1
II. Présentation de la structure d'accueil et de la zone d'étude.....	2
II.1 Présentation de la structure d'accueil	2
II.2 Présentation de la zone d'étude	3
II.2.1 Situation géographique	3
II.2.2 Climat et relief	4
II.2.3 Sols de la zone d'étude.....	4
II.2.4 Végétation	4
II.2.5 Faune	5
II.2.6 Hydrographie.....	5
II.2.7 Ressources en eau dans la commune	5
II.2.8 Villages concernés directement par le projet.....	5
II.2.9 Principales activités économiques de la zone du projet	6
III. Présentation du projet.....	7
III.1 Contexte et justification	7
III.2 Objectifs de l'étude	8
III.2.1 Objectif général	8
III.2.2 Les objectifs spécifiques de l'étude.....	8
III.3 Etat des lieux actuels du site	9
III.4 Données de base pour l'étude	9
III.4.1 Données climatologiques	9
III.4.2 Données topographiques de la cuvette de la retenue.....	9
III.4.3 Données géotechniques	10
IV. Méthodologie de l'étude	10
IV.1 Recherche documentaire et bibliographique, collecte de données.	10
IV.2 Etudes hydrologiques.....	10
IV.2.1 Caractéristiques physiques du bassin versant du barrage de Sinaou	11

IV.2.2	Analyse fréquentielle des pluies.....	12
IV.2.3	Débit de projet	13
IV.2.4	Etudes des apports	16
IV.3	Etudes de la retenue	17
IV.3.1	Etude de la digue et de la cuvette	17
IV.3.2	Ouvrages annexes	22
IV.4	Estimation des besoins.....	27
IV.5	Bilan global et simulation	29
IV.6	Etude d'Impact environnemental et Social	29
V.	Etudes techniques du barrage de Sinaou	29
V.1	Définition de la période de retour.....	29
V.2	Etudes hydrologiques.....	30
V.2.1	Caractérisation du bassin versant	30
V.2.2	Analyse fréquentielle des pluies.....	32
V.2.3	Débit de projet	33
V.2.4	Etudes des apports.....	34
V.3	Etudes de la retenue	34
V.3.1	Etudes de la digue	34
V.3.2	Caractéristiques de la cuvette	38
V.4	Ouvrages annexes	39
V.4.1	Le déversoir et les murs bajoyers.....	39
V.4.2	Le bassin de dissipation et le chenal d'évacuation	41
V.4.3	Ouvrage de prise et de vidange.....	42
V.5	Estimation des besoins et des pertes.....	43
VI.	Etudes financières.....	46
VII.	Notice d'Impact Environnemental et Social	47
VII.1.	Identification des sources et des récepteurs d'impacts	47
VII.2.	Contenu du Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES).....	47
VIII.	Analyse comparative sur l'APD	48
VIII. 1	Analyse des pluies	48
VIII.2	Les paramètres du bassin versant.....	48
IX.	Conclusion.....	50
X.	Recommandations	51
XI.	Bibliographie.....	52
XII.	Annexes.....	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Villages concernés par le projet	6
Tableau 2: : Fruit indicatif des talus des barrages stables	19
Tableau 3: choix de la période de retour	29
Tableau 4: caractéristiques physiques du bassin versant du barrage de Sinaou.	31
Tableau 5: Description statistique des pluies annuelles de Bembereké	32
Tableau 6: Description statistique des pluies maximales journalières de Bembereké	32
Tableau 7: Synthèse de l'étude pluviométrique	33
Tableau 8: Valeurs des débits.....	33
Tableau 9: Coefficients d'écoulement	34
Tableau 10: Caractéristiques de la digue.....	35
Tableau 11: Caractéristiques de la retenue	39
Tableau 12: Caractéristiques géométriques du déversoir	40
Tableau 13: Caractéristiques du bassin de dissipation et du chenal d'évacuation	41
Tableau 14: Dimensionnement de l'ouvrage de prise	42
Tableau 15: Hypothèse d'évaluation des besoins en eau	43
Tableau 16: Besoins humains et pastoraux	43
Tableau 17: Besoin agricole.....	43
Tableau 18: Pertes par évaporation et par infiltration	44
Tableau 19: Pertes par dépôts solides.....	44
Tableau 20: Simulation de la retenue	45
Tableau 21: Synthèse du coût des travaux	46
Tableau 22: Analyse comparatif des paramètres du BV de l'APD et Actualisé	49
Tableau 23: pluies totales (moyennes mensuelles : (1971 - 2012).....	55
Tableau 24: pluies maximales (moyennes mensuelles : (1971 - 2012).....	56
Tableau 25: Levé topographique de la cuvette.....	58
Tableau 26: Ajustement des pluies journalières en période de crue par la loi de Gumbel	59
Tableau 27: Ajustement des pluies annuelles par la loi de Gauss	60
Tableau 28: Calculs du débit décennal.....	61
Tableau 29: Calcul de la revanche.....	63
Tableau 30: Calcul de la hauteur de la digue.....	63
Tableau 31: Calcul de la largeur en crête et de la largeur à la base.....	64
Tableau 32: Vérification de la règle de LANE.....	64
Tableau 33: D50 est fonction de la hauteur des vagues	65
Tableau 34: synthèse des résultats.....	67
Tableau 35: Calcul de la stabilité du déversoir	68
Tableau 36: Dimensionnement du bassin de dissipation et du chenal d'évacuation.....	69
Tableau 37: Mètre de la digue retenue : Altitude digue 350,2 ; PHE=349,2	72
Tableau 38: Synthèse des impacts en phase de construction.....	73
Tableau 39: Synthèse des impacts en phase d'entretien et d'exploitation.....	74
Tableau 40: stratégie de mise en œuvre des actions environnementales retenues	74
Tableau 41: Coût des actions environnementales retenues	76
Tableau 42: Devis quantitatif et estimatif du barrage de sinaou	77

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de localisation du site	3
Figure 2: Cercle de glissement des talus	22
Figure 3: Carte du bassin versant du barrage de Sinaou.....	30
Figure 4: Courbe hypsométrique	31
Figure 5: Hydrogramme des crues	34
Figure 6: vérification de la stabilité des talus de la digue	37
Figure 7: Courbe hauteur-surface	38
Figure 8: Courbe hauteur-volume	38
Figure 9: Géométrie du déversoir.....	39
Figure 10: Géométrie du mur bajoyer	40
Figure 11: Actions mécaniques exercées sur le mur bajoyer	41
Figure 12: Courbe d'exploitation de la retenue.....	46
Figure 13: Ajustement des pluies journalières maximales par la loi de Gumbel	60
Figure 14: Ajustement des pluies annuelles par la loi de GAUSS	61
Figure 15: Abaque de la méthode du x_0 Figure 16 : Abaque de validation du x_0	66
Figure 16: Schéma des actions mécaniques sur le déversoir.....	67
Figure 17: Détermination de l'enfoncement du bassin de dissipation	71

FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE SINAOU		
N°	Désignation	Caractéristiques
I	Localisation	
	Village	Sinaou
	Commune	Pehunco
	Département	Atakora
	Pays	Benin
	Longitude Est	02° 11' 37,7"
	Latitude Nord	10° 10' 36,5"
	Référence des coordonnées GPS (X ; Y)	(412065 ;1123471)
	Distance de Sinaou	2 km au Nord de Sinaou
	Distance de Parakou	120 km
II	Bassin versant	
	Superficie	56 Km ²
	Périmètre	45 km
	Débit de la crue du projet	148 m ³ /s
	Pluie annuelle moyenne (Pan)	1130,7 mm
	Pluie journalière décennale humide (P10)	137,4 mm
	Pluie journalière centennale humide (P100)	205,7 mm
	Apport d'eau annuel en année moyenne	14938165 m ³
	Apport d'eau annuel en année quinquennale sèche	8 746 323 m ³
	Apport d'eau annuel en année décennale sèche	5 519 533 m ³
III	Retenue	
	Cote PEN	348.4
	Cote PHE	349.2
	Volume d'eau à la cote du Plan d'Eau Normal (PEN)	1 898 990 m ³
	Surface du plan d'eau à la cote du Plan d'Eau Normal	54 ha
	Surface du plan d'eau à la cote PHE	82 ha
	Hauteur à la cote PEN	8 m
IV	La digue	

	Type	Digue Homogène
	Longueur	614 m
	Hauteur	9,8 m
	Largeur en crête	6 m
	Pente des talus amont et aval	1V/2H
V	Tranchée d'encrage	
	Largeur au plafond	3.5 m
	Profondeur maximal	5 m
	Pente des talus	1H/2V
VI	Evacuateur de crue	
	Type	Poids en béton armée
	Débit de dimensionnement	148 m3/s
	Charge maximale d'eau sur le déversoir	0.8 m
	Revanche sur le déversoir	0.6 m
	Longueur	120 m
	Longueur du bassin de dissipation	8 m
VII	Ouvrage de prise	
	Nombre	1
	Position	Rive gauche
	Type	Prise aval
	Caractéristique de la conduite	Fonte
	Diamètre de la conduite	800 mm
	Hauteur d'eau sur le bac amont	2.6 m
	Nombre de vanne	01
VIII	Coût	1 886 275 583F CFA

I. Introduction

L'eau, une ressource vitale pour les êtres humains, est un point de concentration d'intérêts divers pouvant être contradictoires et sa maîtrise pour l'agriculture demeure un défi pour les états africains. En effet au Bénin, le secteur agricole occupe une place prépondérante et l'économie du pays est dépendante de ce secteur pour environ 70% des emplois et 30% du Produit Intérieur Brut (PIB). C'est pourquoi, depuis avril 2016, divers projets de développement ont été initiés dans le but d'accroître le rendement de ce secteur, dont le Projet de Développement des infrastructures socioéconomiques et de Sécurité Alimentaire dans le bassin du Niger (PDISSA) : Construction de quatre (04) barrages parmi lesquels figure celui de Sinaou sur lequel porte notre projet sous le thème : « **Etudes techniques pour la construction du barrage de Sinaou, Commune de Ouassa-Péhunco, département de l'Atakora au Bénin** ».

Ce mémoire s'articule autour de quatre parties

Dans un premier temps, nous présenterons la zone d'étude et la méthodologie utilisée ;

Dans un second temps, nous présenterons les études effectuées et les résultats obtenus ;

En troisième point, nous ferons une analyse comparative de nos résultats à celui de l'APD effectuées par le bureau d'étude SETEM-BENIN ;

Enfin, nous ferons ressortir les observations et les recommandations que nous formulerons.

II. Présentation de la structure d'accueil et de la zone d'étude

II.1 Présentation de la structure d'accueil

Le General Service du Burkina (GESEB SA.S) est une entreprise de construction pluridisciplinaire qui exerce ses activités au Burkina Faso et dans la sous-région dans les domaines suivants :

- **REALISATIONS EN BTP**

- Bâtiments et travaux publics (route, ouvrage de franchissement, topographie) ;
- Génie civil et hydraulique (construction métallique, barrage, assainissement, adduction en potable) ;
- Aménagement (aménagement de bas-fonds, périmètres irrigués)
- Travaux à Haute Intensité de Main d'œuvre (GESEB SA.s)

- **INGENIERIE -ETUDES**

Elle assure, dans une dynamique participative, la maîtrise des projets depuis la conception jusqu'à la réalisation des travaux à travers les prestations suivantes :

- Etudes : - Avant-Projet Sommaire (APS)
 - Avant-Projet Détaillé (APD)
 - Dossier d'Exécution (DE)
- Études environnementales et économiques
- Suivi, contrôle et coordination des projets,
- Formation, assistance et conseils

- **AUTRES SERVICES**

- Vente et location d'équipements lourds et de voitures
- Transport.

C'est une structure au service des Institutions d'appui, des projets et programmes de développement, des collectivités locales, des organisations professionnelles et associatives, des ONG de développement et des entreprises publiques et privées.

GESEB SA.s est une Société par Actions Simplifiées (SA.s), dans sa forme actuelle.

II.2 Présentation de la zone d'étude

II.2.1 Situation géographique

La commune de Ouassa-Pehunco fait partie des neuf (09) communes constituant le Département de l'Attacora. Il est limité au Nord par la commune de Kérou, au Sud par la Commune de Djougou dans le département de la Donga, à l'Est par la commune de Sinendé dans le département du Borgou et à l'Ouest par la commune de Kouandé. De par sa position elle s'ouvre sur Djougou, Kouandé, Kérou et le Borgou par Sinendé. Elle a une superficie totale de 1956 km² selon la cellule cartographique du ProCGRN et est composée de trois (03) arrondissements (Péhunco, Gnimasson et Tobré) et de vingt-six (26) villages et quartiers de ville dont fait partie Sinaou.

II.2.1.2 Localisation et accessibilité du site

Sinaou est un village de la commune rurale Ouassa-péhunco dans le département de l'Atakora situé au Nord-ouest du Bénin. La commune est située à 433 kilomètres de Cotonou et à environ 119 kilomètres de Parakou l'une des grandes villes de Bénin. L'accès du site peut se faire à partir de la route inter état n° 03 (RNIE3) jusqu'à l'Attacora ; de l'Attacora à Péhunco sur 114 km et enfin la route national n° 07 (RN7) de Péhunco à Sinaou sur 5 km. La localisation du site en coordonnées UTM (X=412065 ; Y=1123471) est illustré sur la figure n°1.

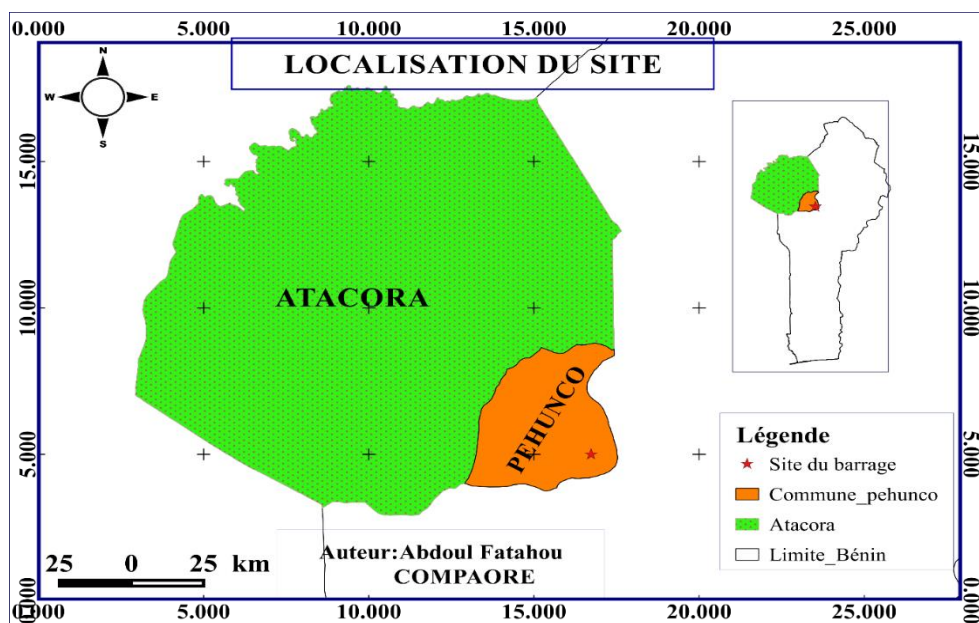


Figure 1: Carte de localisation du site

II.2.2 Climat et relief

Le climat de la zone d'étude est de type Soudano-guinéen, caractérisé par une saison de pluvieuse, allant de mi-avril à mi-octobre, et une saison sèche allant de mi-octobre à mi-avril. Les précipitations maximales sont enregistrées pendant les mois d'août et Septembre. Le climat appartient à une zone agroécologique caractérisée par une pluviométrie qui oscille entre 800 et 1 200 mm de pluie par an et répartie sur près de 170 jours depuis 1980 jusqu'à 2017. La température moyenne est 26 °C avec un maximum au cours du mois de mars. L'harmattan, un vent froid et sec, souffle entre novembre et mi-mars et entraîne parfois une amplitude thermique de plus de 10 °C.

Le relief de la zone d'étude est dans son ensemble situé dans une pénéplaine qui s'étire dans la ligne de partage des eaux entre les bassins du Niger et de l'Atlantique. Il est modérément accidenté avec une dénivelée spécifique de 47 m. (Source : cahier des villages et quartiers de ville du département de l'Atakora, 2016).

II.2.3 Sols de la zone d'étude

La roche mère qui constitue le sol dans la commune de Pehunco est du gneiss à biotite compris dans le dahoméen. Ces substrats géologiques ont donné naissance à des sols ferrugineux tropicaux lessivés non concrétionnés et sablonneux. Ces sols gravillonnés et sablonneux sont très peu fertiles et ont une capacité de rétention d'eau assez faible. Des 1 900 km² représentant sa superficie, environ 800 km² représentent les terres fertiles. En dehors des forêts classées, où l'on rencontre des sols fertiles, le reste de la superficie de la commune est fait de sols gravillonnés très peu fertiles. Ils sont propices aux cultures pluviales et irriguées et au maraîchage. (Source : cahier des villages et quartiers de ville du département de l'Atakora, 2016).

II.2.4 Végétation

La végétation dans son ensemble est faite de savane arborée et arbustive. Elle est arborée surtout dans la forêt classée et le long des cours d'eau où elle forme des forêts galeries. Il existe aussi une strate herbacée assez variée mais composée en majorité de graminées. Les ressources forestières occupent un domaine classé qui couvre 207 km², soit 1,09 % environ de la superficie totale. Les unités d'occupation des sols représentant la végétation sont : les cultures pluviales, la mosaïque de champs et le parc agro-forestier. Ces données montrent que le site est situé dans une zone fortement occupée par les activités agro-sylvo-pastorales. Dans ces conditions, il se déduit aisément l'importance de la construction du barrage qui viendra en soutien à la reconstitution du potentiel végétal en particulier et des ressources naturelles en général. Cela constitue un soutien au potentiel de production agro-sylvo-pastoral. (Source : cahier des villages et quartiers de ville du département de l'Atakora, 2016).

II.2.5 Faune

La faune de la zone du projet est principalement composée de singes, de buffles, les rats voleurs, des pintades sauvages et autres petits gibiers.

II.2.6 Hydrographie

La commune de Péhunco est drainée par le fleuve Mékrou dans les arrondissements de Péhunco et par de nombreuses rivières à régime torrentiel. Ce réseau hydrographique est complété par des cours d'eau dont la plupart ont un caractère saisonnier. C'est sur les bras de ces cours que sont implantées la majorité des retenues d'eau de l'arrondissement. En ce qui concerne le barrage de Sinaou il est drainé par le cours d'eau de Tobredarou. (Source : cahier des villages et quartiers de ville du département de l'Atakora, 2016).

II.2.7 Ressources en eau dans la commune

Au terme de l'enquête, la commune compte deux (02) barrages construits pour l'abreuvement du cheptel de la Commune. Ces barrages subissent de forte pression de la part des agriculteurs qui ont d'ailleurs occupé les couloirs de passage. En effet la population de Ouassa-Pehunco est en majorité de Bariba mais les peulhs représentent 33 % environ de la population. L'élevage bovin est donc une activité très importante dans la Commune. Ainsi en intégrant tous les besoins, il y a une réelle insuffisance d'eau dans la commune.

II.2.8 Villages concernés directement par le projet

La zone du projet est constituée par l'ensemble des villages susceptibles d'utiliser l'infrastructure après sa réalisation. Ainsi, la zone d'influence diffuse du projet couvre quatorze (14) villages y compris le village récepteur qui est Sinaou. Aussi, pour estimer la population bénéficiaire ainsi définie, il a été utilisé les données du recensement général de la population du Bénin en 2013 (RGPH, 2013). Le tableau n°01 donne la liste des villages concernés par le projet.

Tableau 1: Villages concernés par le projet

N°	Villages	Arrondissement	Commune	Département
1	Bana	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
2	Boudé	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
3	Gambinou	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
4	Gonri	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
5	Gountia	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
6	Guimbérérrou	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
7	Maré Orou Gah	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
8	Ningoussourou	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
9	Ouassa • Kika	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
10	IO.Ouassa Maro	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
11	Sinaou	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
12	Tobré	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
13	Tonri	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
14	Wakarou	Tobré	Ouassa-Péhunco	Atacora
Total	14 Villages	01 arrondissement	01 Commune	01 Département

Source : Enquêtes arrondissement de Tobré, Bureaux d'étude SETEM-BENIN, 2015.

II.2.9 Principales activités économiques de la zone du projet

La population rurale selon le dernier recensement avoisine les 60 000 habitants (source RGPH 2013). Il existe des échanges économiques entre les deux (02) groupes socioculturels les plus importants de la commune que sont : les bariba et les peuhls. Plus de 44,66 % des actifs de la population de la commune interviennent dans l'agriculture, l'élevage, la pêche et la chasse³. Les différentes spéculations produites par ordre d'importance sont le maïs, l'igname, le coton, le sorgho, le manioc, soja et le riz. Les cultures du riz et le maraichage sont très marginaux. En plus de ces activités de production agricole, les habitants de Péhunco mènent parallèlement un certain nombre d'activités qui permettent d'améliorer les revenus et les

conditions de vie des ménages. Les activités secondaires ainsi répertoriées sont : le commerce qui vient en tête avec près de 33,51 % des actifs de la population, la maraîcher-culture, et autres. (Source : site web www.Pehunco.com).

III. Présentation du projet

III.1 Contexte et justification

La mobilisation des ressources en eau constitue une préoccupation majeure aussi bien pour le gouvernement du Bénin que pour les communautés de base et les partenaires au développement. Au Bénin, le secteur agricole occupe une place prépondérante et l'économie du pays est dépendante de ce secteur pour environ 70% des emplois et 30% du Produit

intérieur Brut (PIB). C'est pourquoi, depuis avril 2016, le Gouvernement Béninois s'est donné comme vision pour le secteur agricole de faire de l'agriculture le principal levier de développement économique, de création de richesses et d'emplois.

Ainsi, divers projets de développement ont été initiés dans le but d'accroître le rendement de ce secteur, dont le Projet de Développement des infrastructures socioéconomiques et de Sécurité Alimentaire dans le bassin du Niger : Construction de quatre (04) barrages à buts multiples au Bénin dont celui de Sinaou dans la commune de Pehunco initié avec l'appui de la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD) à travers une requête de financement adressée à cette institution. Le Projet de Développement des infrastructures socioéconomiques et de Sécurité Alimentaire dans le bassin du Niger s'inscrit en droite ligne avec la politique gouvernementale dans le cadre de la mise en œuvre du Programme d'Actions du

Gouvernement 2016-2021 et du Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole (PSRSA) visant entre autres, la valorisation et la maîtrise des ressources en eau, l'autosuffisance et

la sécurité alimentaire, la préservation de l'environnement et une croissance économique

soutenue. Aussi, les populations rurales Béninoise retiennent comme action prioritaire, la mise en valeur de ressources sous exploitées comme les cours d'eau naturels.

Le présent projet se justifie-t-il sur les plans social, économique et financier, de la gestion des ressources naturelles et sociales.

Sur le plan social, les bénéficiaires de l'aménagement qui seront appelés à travailler sur ce site verront leurs relations sociales renforcées, gage d'un développement local consolidé. De plus

avec les activités qui y seront menées et les différentes formations qui seront dispensées, il y aura une amélioration des compétences locales qui serviront aussi bien sur le périmètre aménagé que dans d'autres activités.

Sur le plan économique et financier, les activités à entreprendre autour du barrage (ceci surtout avec l'aménagement de 42 ha à l'aval du barrage) boosteront l'économie de la commune. En effet il y'aura une amélioration des conditions de production agricole, sylvicole et pastorale conduisant à des augmentations de rendements dans ces différents secteurs d'activités. Il s'en suit une augmentation de l'épargne locale et du renforcement de certaines autres activités telles que l'élevage et le petit commerce.

Sur le plan politique et de la gestion des ressources naturelles, la réalisation de l'aménagement constitue une réponse à la politique nationale qui est de faire de l'agriculture le principal levier de développement économique, de création de richesses et d'emplois. En matière de gestion des ressources naturelles, l'eau stockée contribuera grandement à l'essor socioéconomique des villages constituant la zone du projet. Des effets indirects moins évidents tels que la création d'un microclimat et de l'alimentation en eau de la nappe phréatique à hauteur et à l'aval de la retenue sont de véritables atouts pour l'équilibre écologique du terroir récepteur.

III.2 Objectifs de l'étude

III.2.1 Objectif général

L'objectif visé par l'étude est de fournir une étude technique détaillée sur le projet de construction du barrage de Sinaou dans la commune de Ouassa-Pehunco, département de l'Atakora.

III.2.2 Les objectifs spécifiques de l'étude

- Faire la synthèse des études de base pour déterminer le débit de projet et les apports liquides au droit du barrage afin de nous assurer qu'il sera rempli en période défavorable (années quinquennale et décennale sèches) ;
- Proposer une conception optimale de la digue qui fera ressortir ses caractéristiques géométriques garantissant sa stabilité et permettant d'avoir un optimum économique ;
- Etudes de conception et de dimensionnement du déversoir et de ses ouvrages annexes ;

- Réalisation des plans d'exécution
- Faire une estimation du coût total des travaux.
- Faire une synthèse de l'Etude d'impact environnementale

III.3 Etat des lieux actuels du site

Le barrage de Sinaou est un nouveau barrage en phase de projet. Effectuant le stage dans une entreprise chargée de l'exécution des travaux, nous avons pu effectuer de visite sur le terrain. L'objectif de cette visite est de faire une reconnaissance du site initié par le maitre d'ouvrage.

III.4 Données de base pour l'étude

Les données de base qui nous ont permis de mener à bien l'étude sont les données climatologiques (pluviométrie, température, évaporation), le fond topographique de la cuvette, l'étude géotechnique et la notice d'impact environnemental.

III.4.1 Données climatologiques

Les données pluviométriques utilisées sont celles de la station synoptique de **Bembereké** car étant la plus proche du site et représentatif de la zone d'étude. Ces données couvrent la période de 1971 à 2012. L'échantillon est de taille car elle présente une série de données sur environs 40 ans permettant ainsi de faire une analyse statistique satisfaisante.

Pour les données sur l'évaporation, nous utiliserons les données de la station météorologique de **Parakou** de 1971 à 2012.

Données climatologiques sont à l'**annexe2 à la page 59**

III.4.2 Données topographiques de la cuvette de la retenue

Une campagne topographique a été menée dans la cuvette par le bureau d'étude SETEM-CONSEIL pour faire ressortir les courbes de niveau de la cuvette ainsi que certains points cotés. Nous avons utilisé le fond topographique pour extraire les données topographiques nécessaires à la construction des courbes hauteur -volume et hauteur-surface. Ces données sont à l'**annexe3 à la page 69**.

III.4.3 Données géotechniques

Une campagne géotechnique a été menée sur le site à travers la réalisation de sondages tant sur l'axe de la digue que dans la cuvette de la retenue. Nous utiliserons ces données géotechniques pour d'une part définir le type de la digue et d'autre part pour la définition des profondeurs d'ancrage. Selon le rapport géotechnique fourni à l'APD, on rencontre des matériaux à caractère étendu au regard de leurs courbes granulométriques et sédimentométriques produites à l'issue des analyses en laboratoire (Rapport APD page 53 du document).

IV. Méthodologie de l'étude

Dans cette partie, nous exposons la démarche scientifique que nous avons adoptée pour mener l'étude.

IV.1 Recherche documentaire et bibliographique, collecte de données.

Il s'est notamment agi pour nous de rechercher toute la documentation et informations relatives au barrage de Sinaou auprès des institutions œuvrant dans le domaine de l'eau et des populations locales. Nous avons également consulté des documents tels que l'avant-projet détaillé (APD), les anciens rapports d'études de réalisation et de réhabilitation des barrages, des éditions, des cours à la bibliothèque et sur internet, des cartes... pour mener les études techniques pour la construction du barrage.

En plus, nous avons collectés les données indispensables à l'étude notamment les données climatiques (pluviométrie, évaporations) auprès des stations synoptique et météorologiques de Bembereké et Parakou

Cette étape nous a permis de faire un état des lieux réel, de faire une analyse globale sur la retenue dans son ensemble et de nous orienter vers des pistes de solutions idoines pour les études.

IV.2 Etudes hydrologiques

Dans cette partie, il sera question dans un premier temps de définir une période de retour pour le barrage ; ensuite nous déterminerons les caractéristiques physiques du bassin versant du barrage de Sinaou et enfin nous estimerons le débit de projet ainsi que les différents apports en périodes défavorables (année moyenne, quinquennale sèche et décennale sèche).

IV.2.1 Caractéristiques physiques du bassin versant du barrage de Sinaou

Les principales caractéristiques du bassin versant que nous déterminerons dans le cadre de ce projet sont les suivantes :

- ✓ Périmètre (P) et surface (S) du bassin versant : ces deux paramètres du bassin ont été obtenus à partir du logiciel Global Mapper.
- ✓ Indice de forme ou coefficient de compacité de GRAVELIUS (KG) du bassin versant : Il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie et permet de comparer entre eux les bassins de superficie identique. Le coefficient de compacité de GRAVELIUS est exprimé à partir de la relation suivante :

$Kg = 0,282 * P * S^{(-0.5)}$	S : superficie du bassin versant (km²) ; P : périmètre (km) ; KG: Indice de compacité
-------------------------------	---

- ✓ Rectangle équivalent : C'est le rectangle ayant la même surface et le même périmètre que le bassin versant, sa longueur, ainsi que sa largeur sont données par ces équations :

$Leq = P + \sqrt{(P^2 - 16S)/4}$; $leq = P/2 - Leq$	S : superficie du bassin versant (km²) ; P : périmètre (km) Leq : Longueur du rectangle équivalent (km) ; leq : largeur du rectangle équivalent (Km).
---	--

- ✓ Densité de drainage : La densité de drainage est le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la surface du bassin versant. Son expression est :

$Dd = (\sum Li) / S$	S : superficie du bassin versant (km²) ; Li : Longueur totale des cours d'eau (km) ; Dd : Densité de drainage (km/km²).
----------------------	--

- ✓ Pente transversale moyenne : Elle est déterminée en faisant la moyenne de quatre à six pentes transversales sur le bassin versant.

- ✓ Répartition hypsométrique : La courbe hypsométrique du bassin versant donne le pourcentage de la superficie S du bassin versant située au-dessus d'une altitude donnée H. Elle permettra de déterminer l'indice global de pente (Ig).
- ✓ Indice global de pente (Ig) Il est l'indice qui caractérise le relief du bassin :

$Ig = (\Delta H)/(Leq)$	ΔH: est la dénivelée entre 5% et 95% de la superficie du Bassin versant (m) ; Leq : Longueur du rectangle équivalent (km) ; Ig : Indice global de pente (m/Km).
-------------------------	---

- ✓ Indice global de pente corrigé (Igcorr) : Si la pente transversale est trop différente de la pente longitudinale (supérieur de 20%), on calcule alors un indice global de pente corrigé (Igcorr).

$Igcorr = [(n-1)Ig + It]/n$	n : Coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent ; Ig : indice global de pente (m/Km) ; It : pente transversale (m/Km) ; Igcorr : Indice global de pente corrigée (m/km).
-----------------------------	--

IV.2.2 Analyse fréquentielle des pluies

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés caractéristiques d'un processus donné, afin d'en définir les probabilités d'apparition future.

Elle a été menée sur les données pluviométriques recueillies à la station météorologique de Bembereké sur la période de 1971 à 2012.

- Série des pluies annuelles de 1971-2012 subiront un ajustement à la loi normale de GAUSS
- Série des pluies journalières de 1971-2012 subiront un ajustement à la loi de GUMBEL.

Nous effectuerons l'analyse à l'aide du logiciel Hyfran qui est un outil adapté pour l'analyse des données pluviométriques avec un intervalle de confiance à 95%.

L'objectif de cette analyse fréquentielle est la détermination des différents quantiles pluviométriques.

IV.2.3 Débit de projet

La détermination de la crue de projet consiste à déterminer ou estimer le débit de crue pour lequel on souhaite protéger l'ouvrage (bulletin FAO 54, 1998). Le bassin versant n'ayant pas été jaugé, les méthodes empiriques mises en œuvre pour les petits bassins versants de l'Afrique occidentale et centrale sont celles utilisées pour la prédétermination des débits de crue. Les méthodes retenues sont celles de l'ORSTOM, du CIEH et du GRADEX.

➤ Méthode ORSTOM

La première méthode de détermination de la crue décennale appelée "Méthode ORSTOM" a été publiée en 1965 par Rodier et Auvray. Face à certaines insuffisances et à l'accroissement du volume des données et des observations, il a fallu procéder à sa révision pour être plus réaliste.

C'est ainsi que les auteurs, et notamment Rodier, ont procédé à cette révision pour la zone sahélienne et la zone tropicale sèche pour des bassins pouvant aller de quelques hectares à 1 500 km².

La zone d'étude étant située en zone soudano-Guinéenne, avec un bassin assez boisé d'une couverture assez abondante et une pente du terrain relativement modéré, on admet que le bassin versant appartient à la classe RI (P3) des catégories de perméabilité, le débit de crue décennal est déterminé par l'équation suivante.

$Q_{r10} = A * P_{10} * K_{r10} * \alpha 10 * S / T_{b10}$ $Q_{10} = m * Q_{r10}$	Q_{r10} : Débit de pointe du ruissellement superficiel décennal (m³/s) ; Q₁₀ : Débit de crue décennal par la méthode ORSTOM (m³/s) ; S : la superficie du bassin versant (km²) ; P₁₀ : pluie journalière maximale décennale (mm) ;
---	---

	Kr10 : coefficient de ruissellement décennal obtenu par interpolation entre Kr70 et Kr100 ou estimer par une formule ; Tb : temps de base de la crue décennale (mn) A : coefficient d'abattement de VILLAUME α_{10} : Coefficient de pointe pris égal à 2,6 ; m : Coefficient majorateur égal à 1,03 ;
--	---

➤ Méthode CIEH

Cette méthode a été proposée par Puech et Chabi-Gonni en 1983. Elle s'est basée sur 162 bassins versants dont l'origine vient essentiellement du recueil de Dubreuil (1972) sur les bassins expérimentaux. Cette méthode repose principalement sur des équations de régression linéaire multiple entre paramètres corrélables. Elle est donnée par l'équation suivante.

$Q_{10} = a * S^s * (Pan)^p * (Ig)^i * (Kr)^k * (Dd)^d$	Q10 : Débit de crue décennal par la méthode CIEH (m³/s) ; a : Constante de la régression ; S : la superficie du bassin versant (km²) ; Pan : Pluviométrie annuelle moyenne (mm) ; Ig : Indice global de pente corrigé (m/km) ; Kr10 : Coefficient de ruissellement décennal. Dd : Densité de drainage (km⁻¹) ; a, s, p, i, k, et d sont les exposants des paramètres.
---	--

En se basant sur les études du CIEH et en tenant compte des caractéristiques du bassin et de son emplacement et aussi du régime climatique de la zone, on sélectionne les équations qui montrent une valeur élevée de r² en favorisant les échantillons pour lesquels n est élevé. De cette manière, nous sélectionnons les équations no. 26, 39, 40, 44. Toutes ces équations donnent des valeurs assez différentes de débit. La valeur de débit retenue pour la méthode CIEH est la moyenne des valeurs de toutes les équations.

➤ Méthode du GRADEX

Cette méthode permet de passer du débit décennal au débit de crue centennale en multipliant le débit de crue décennale par un coefficient majorateur supérieur à 1, qui est fonction des précipitations de même temps de retour pour le temps de base caractéristique du bassin versant.

$Q_{100} = C * Q_{10} ;$ $C_{100} = 1 + \frac{(P_{100} - P_{10})}{P_{10}} * \frac{(\frac{T_b}{24})^{0,12}}{Kr_{10}}$	C : Coefficient majorateur ; P₁₀: Précipitation journalière maximale décennale (mm) ; P₁₀₀ : Précipitation journalière maximale centennale (mm) ; T_b : Temps de base de crue décennale (Heures) ; Kr₁₀ : Coefficient de ruissellement décennal (en fraction) ; Ig : Indice global de pente corrigé (m/km) ; Q₁₀₀ : Débit centennal (m³/s).
--	---

✓ Hydrogramme des crues

Il donne l'évolution de la crue au cours du temps. L'hydrogramme de la crue du projet est schématisé en trois tronçons linéaires proposés par GRESILLON, HERTER, et LAHYAYE construit à l'aide des temps de base et de montée. Le changement de pente de la décrue s'effectue à un débit dit débit de discontinuité et dont la valeur est fixée par la relation :

$Q_d = \frac{2 * Q_p * (T_{b10} - \alpha * T_{m10})}{\alpha_{10}(T_{b10} - 2 * T_{m10})}$	Q_d : Débit de discontinuité (m³/s) ; T_b : Temps de base (min) ; T_m : temps de montée en heure (min) ; α₁₀ : Coefficient de pointe pris égal à 2,6.
---	---

✓ La crue de rupture du barrage

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

$Q_{rupt} = 2 * l * (a + 0,20)^{(1,5)} + 0,15 * L$	Q_{rupt} : crue de rupture du barrage en m³/s ; L : longueur de la digue sans déversoir (m) ; l : longueur du déversoir (m) ; a : revanche totale (m).
--	---

IV.2.4 Etudes des apports

La détermination des différents apports liquides a pour but principal de vérifier que même en période défavorable (quinquennale sèche et décennale sèche), le barrage sera rempli. Pour ce faire, une très bonne connaissance des écoulements sur le bassin versant est nécessaire.

Cependant, la détermination des écoulements sur les petits bassins versants en Afrique de l'Ouest est difficile compte tenu de l'absence d'observations et de données hydrométriques suffisantes.

Dans le cadre de ce projet, nous utilisons la méthode de Dubreuil-Vuillaume (1975) pour la quantification des apports liquides.

La lame d'eau écoulee annuelle moyenne est déterminée à l'aide de relations issues de régressions multiples établies graphiquement. Le facteur explicatif principal P_r est un facteur climatique qui représente la part disponible pour l'écoulement de l'apport pluvial considéré à l'échelle mensuelle, la partie non disponible étant sensée être représentée par l'évapotranspiration. Cette pluie réduite, exprimée en mm est calculée par l'équation :

$P_r = \sum_{n=1}^{12} \delta^n \left(P_{me}^n - \frac{ETB}{36} \right)$	$\delta^n = 1$ quand $P_{me}^n > \frac{ETB}{36}$; $\delta^n = 0$ quand $P_{me}^n < \frac{ETB}{36}$; n varie de 1 à 12 (numéro du mois) ; P_{me}^n est la hauteur mensuelle moyenne de précipitations pour le mois n ; ETB est l'évaporation annuelle moyenne sur bac d'eau libre.
---	---

Notre bassin étant en région de savane arbustive, nous nous intéressons à la détermination des écoulements en région de savane arbustive par la méthode de Dubreuil-Vuillaume.

La lame d'eau écoulee moyenne annuelle E_c , exprimée en mm est donnée par la relation suivante :

$E_c = 0,47 * P_r - 33 * \log(S) + 0,54 * D_s + A$	S est la superficie du bassin versant en Km² ; D_s est la dénivelée spécifique en m ; A est le terme d'aptitude à l'écoulement. Il est négatif et égal à 35 mm pour notre zone (bassins à lit mineur net sur terrains granitiques imperméables).
--	--

Connaissant l'écoulement moyen, nous déterminons le coefficient d'écoulement annuel par la relation :

$K_e = (E_c / \text{Quantile}) * 100$	Ec, écoulement en mm ; Quantile, pluviométrie en mm ; K_e est le coefficient d'écoulement en %.
---------------------------------------	--

Pour obtenir les coefficients d'écoulement quinquennal sec et décennal sec, on applique respectivement les coefficients 0,7 et 0,5 (**coefficients recommandés par l'ONBAH**) au coefficient d'écoulement annuel moyen.

$V_i = K_{ei} * P_i * S * 1000$	V_i : Volume des apports (m³) ; S: Surface du bassin versant (km²) ; P_i : Quantile pluviométrique considéré (mm) K_{ei} : Coefficient d'écoulement i : Fréquence
---------------------------------	--

IV.3 Etudes de la retenue

IV.3.1 Etude de la digue et de la cuvette

- Calage de la cote de la digue et de la lame d'eau déversante

De façon théorique, la hauteur de la digue est la côte normale de la retenue des eaux majorée de la lame d'eau au-dessus du déversoir et de la revanche.

$H_D = H_r + h + R$	H_r : hauteur de la retenue au PEN (m) h : lame d'eau au-dessus du seuil (m) R : revanche (m) H_D : Hauteur maximum de la digue (m)
---------------------	---

Mais de façon pratique, nous allons caler la cote de la digue en examinant rigoureusement le fond topographique de la cuvette. La cote qui permet d'avoir une grande surface de cuvette sera choisie en tenant compte également des besoins.

La lame d'eau déversant sera choisie en fonction de la taille des barrages en terre et du type de déversoir. Dans notre cas, il s'agit d'un petit barrage en terre de hauteur inférieure à 15 m.

➤ Calcul de la revanche libre R

La revanche est une tranche d'eau comprise entre le PHE et la crête du barrage. Cette hauteur permet de protéger la digue des risques d'invasion. Son calcul tient compte de la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau et la vitesse du vent (. COMPAORE, 1996). Elle est donnée par la formule de GAILLARD.

$R = A \cdot (h + V^2/2 \cdot g)$ avec $V = 3/2 + 2/3 \cdot hv$; et $hv = 1/2 + (1/3) \cdot \sqrt{f}$	V : vitesse des vagues en m/s ; hv : hauteur des vagues (m) ; f : fetch en km ; R : Revanche (m).
--	--

➤ Calcul du PEN et des PHE

Le calage du Plan d'Eau Normal (PEN) permet de définir la capacité de stockage de la retenue. Ainsi, il doit être calé de façon à stocker le maximum d'eau possible.

Le PHE correspond au PEN augmenté de la charge au-dessus du seuil.

PEN = Cote digue - R - h PHE = PEN + h	PEH : Plan des Hautes Eaux (m) ; PEN : Plan d'Eau Normal (m) ; h : hauteur d'eau admise au-dessus du seuil (m).
---	---

➤ Courbes Hauteur-Volume et Hauteur -Surface

Les données topographiques nous permettent de construire les courbes hauteur-volume et hauteur-surface de la retenue du barrage. Le volume partiel est obtenu par la relation suivante :

$V_{i+1} = ((S_i + S_{i+1})/2) * h$	V_{i+1} : volume partielle de la retenue en m³ ; S_i : surface du plan d'eau correspondant au courbe de niveau i (ha) ; S_{i+1} : surface du plan d'eau correspondant au courbe de niveau i+1 (ha) ; h : dénivelée entre deux courbes de niveau i et i+1 (m).
-------------------------------------	--

Source : cours de barrage Licence 2&3. (GUEYE, 2012).

➤ Pente des Talus de la digue

Les pentes des talus sont fixées par les conditions de stabilités mécaniques du massif et de ses fondations. Il existe plusieurs méthodes de calcul de stabilité des pentes ; nous allons utiliser le tableau n°02 qui donne quelques valeurs qui devront être confirmées par une étude de stabilité :

Tableau 2 : Fruit indicatif des talus des barrages stables

Hauteur du barrage [m]	Type de barrage	Amont	Aval
Inférieure à 5 m	- Homogènes - A zone	1/2,5 1/2	1/2 1/2
Entre 5 et 10 m	- Homogène, granulométrie étendue - Homogène à fort % d'argile - A zones	1/2 1/2,5 1/2	1/2 1/2,5 1/2,5
Entre 10 et 20 m	- Homogène, granulométrie étendue - Homogène à fort % d'argile - A zones	1/2,5 1/3 1/2	1/2,5 1/2,5 1/3

Source : (LO, 2016) ; cours de barrage, Master II

➤ Largeur en crête de la digue

La largeur de la crête est dimensionnée pour la circulation des engins et pour l'entretien de l'ouvrage (GUEYE, 2014B). Elle est calculée par la formule de KNAPPEN et celle de PREECE.

Formule de PREECE $l_c = 1,1 \cdot \sqrt{HD} + 1$	HD : Hauteur maximum de la digue en (m) lc : largeur en crête de la digue en (m)
Formule de PREECE $l_c = 1,65 \cdot \sqrt{HD} + 1$	HD : Hauteur maximum de la digue en (m) lc : largeur en crête de la digue en (m)

➤ Largeur de la fondation

La digue étant de forme trapézoïdale, la largeur en fondation se calcule comme suit :

$L_b = L_c + (m_{\text{amont}} + m_{\text{aval}}) \cdot HD$	Lc : largeur en crête de la digue (m) m amont : (Fruit de berge amont) m aval : (Fruit de berge aval) Largeur à la base de la digue ; HD : Hauteur maximum de la digue (m).
---	---

➤ Infiltration et Hydraulique interne

Cette étude consiste à analyser les conditions d'étanchéité du corps de remblai (PUECH et CHABI-GONNI, 1983).

Le débit s'infiltrant à travers la digue peut être évalué à travers la parabole de KOZENY.

$q = k_r \cdot Y_0$; $Y^2 - 2xY_0 - Y_0^2 = 0$; $Y_0 = \sqrt{((Hr^2 + d^2))} - d$	Y0 : Point d'intersection de l'axe des ordonnées et de la parabole de Kozeny ; h : tirant d'eau à l'amont (m) ; d : largeur en base du barrage diminuée de 0,7 b et de la longueur du drain (m) ; q : débit de fuite par mètre linéaire (m ³ /s/ml).
---	--

➤ Drains et Filtres

Disposés horizontalement, les drains doivent permettre la collecte des infiltrations dans la digue et une partie des débits d'infiltration dans la fondation et de les acheminer hors de la digue dans le fossé de pied aval.

Les filtres constituent la transition entre le remblai de la digue et les drains afin d'éviter l'entraînement des particules fines du remblai par l'eau.

$e = 2 * \sqrt{\left(\frac{q * l_d}{k_d}\right)} ;$ $l_d = \frac{L_f}{3}$	e : épaisseur (m) ld : largeur (m) Lf : largeur en base de la digue (m) kd : (perméabilité du drain en m/s)
---	---

➤ Protection des talus

Pour la protection des talus des barrages, les principaux types sont les enrochements, les perrés secs et maçonnés. Les épaisseurs des protections sont calculées à l'aide de la formule suivante :

$e = 1,5 * D_{50}$	D₅₀ : fonction de la hauteur des vagues (m) e : épaisseur de protection (m)
--------------------	--

➤ Stabilité des talus de la digue :

L'étude de stabilité sera conduite sur la méthode des cercles de glissement de BISHOP. Elle sera vérifiée à l'aide du logiciel Géoslope Version 2012 afin de conforter les valeurs des pentes (valeurs de prédimensionnement) choisies. Il existe trois types de vérifications que l'on peut effectuer :

- ☐ la vérification à la retenue vide ;
- ☐ la vérification à la retenue pleine ;
- ☐ la vérification en cas de vidange rapide.

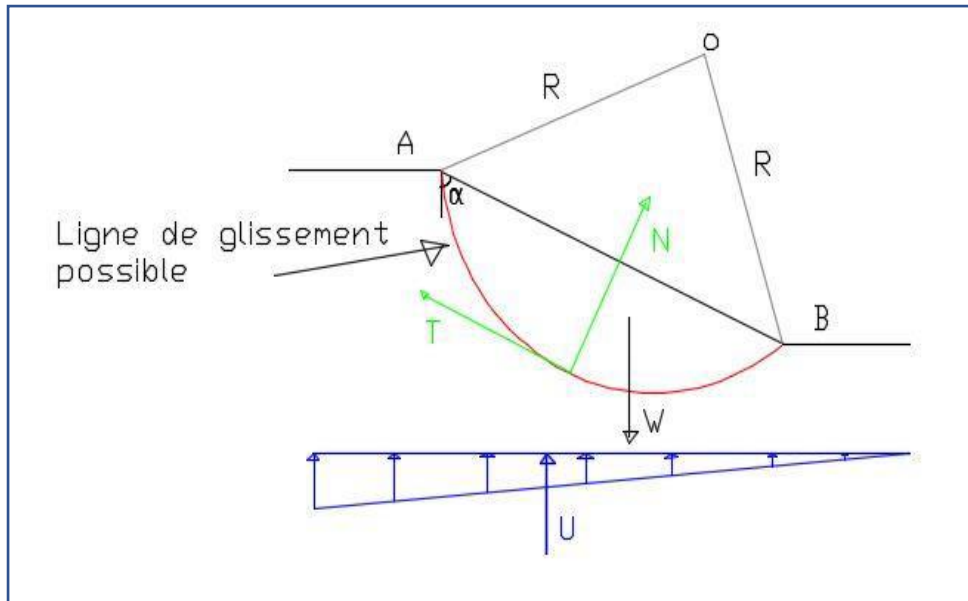


Figure 2: Cercle de glissement des talus

➤ Tranchée d'ancrage

La tranchée d'ancrage a pour objectif de prévenir la formation de renards en allongeant les lignes de fuite. Le renardage est un phénomène d'érosion interne régressive qui s'accroît au fur et à mesure de l'augmentation du gradient hydraulique H/L . La hauteur d'eau H à l'amont du barrage étant imposée, on déterminera la longueur L des lignes de fuite dans la fondation. Pour ce faire, on utilise souvent la règle de LANE qui s'écrit :

$L_v + \frac{1}{3} L_h \geq CH$	L_v : Longueur des cheminements verticaux en (m) ; L_h : Longueur des cheminements horizontaux en (m) ; H : Hauteur d'eau en amont du barrage en (m) ; C : Coefficient de Lane qui dépend de la nature du terrain.
---------------------------------	--

IV.3.2 Ouvrages annexes

- Le déversoir

Longueur du déversoir

La longueur du seuil déversant a été déterminée avec la crue de projet.

$L = \frac{Q}{m \times (2 \times g)^{1/2} \times h^{3/2}}$	Q : débit du projet (m³/s) L : longueur du seuil déversant (m) m : coefficient de débit du seuil déversant (profil trapézoïdal) g : Constante de gravitation g(m/s²) h : lame d'eau déversant (m)
--	--

La crue sera laminée pour tenir compte non seulement du volume temporairement déstocké dans la retenue mais et surtout pour diminuer la longueur du déversoir et donc faire des économies. L'étude du laminage consiste à déterminer la cote maximale atteinte par le plan d'eau pendant la crue, si les dimensions du déversoir de crue sont fixées à priori, il s'agit de déterminer la hauteur maximale du plan d'eau au-dessus de l'évacuateur (ou vice versa) c'est le laminage de la crue. Il existe plusieurs méthodes pour calculer l'effet du laminage. Nous utiliserons la méthode de X0 pour le laminage sur la base d'une lame d'eau de 1 m.

Stabilité du déversoir

L'étude de stabilité du déversoir poids concerne l'équilibre de l'ensemble de l'ouvrage vis-à-vis du glissement sur la fondation, du renversement et du poinçonnement. Les actions mises en jeu sur une tranche de 1 m du déversoir font intervenir, le poids propre du déversoir, la poussée hydrostatique amont, les sous-pressions, éventuellement la poussée des sédiments accumulés à l'amont et la poussée hydrostatique aval.

Pour l'étude de la stabilité du déversoir, nous supposons le cas où il y a un déversement comme le cas le plus défavorable ; d'où h= 0.8 m.

Les différentes stabilités sont vérifiées à travers les relations suivantes :

Stabilité au glissement	
$F_G = \frac{\sum(W - U) \tan \phi}{\sum(Rh)} \geq 1,5$	FG : coefficient de sécurité au glissement ; W : poids propre de l'ouvrage (kN/ml) ; U : sous pression (kN/ml) ; Rh : résultante des forces horizontales.

Stabilité au renversement	
$F_R = \frac{\sum M_{résistants}}{\sum M_{moteurs}} \geq 1,5$	F_R = coefficient de sécurité au renversement
Stabilité au poinçonnement	
$\sigma_{max} \leq \sigma_{adm.sol}$ $\sigma_{max} = \left(\frac{\sum (W - U)}{B} \right) * \left(1 + 6 * \frac{ e }{B} \right)$ $\sigma_{adm.sol} = \frac{1}{2} * B * \gamma * N_y + C * N_c + \gamma * D * N_q$	γ : Poids Volumique du sol sous la base de la fondation (KN/m3) ; Φ : Angle de frottement interne du sol sous la base de la fondation (rad) ; N_y : Facteur de portance C : Cohésion du sol sous la base N_c : Facteur de portance obtenu par interpolation ; D : profondeur d'encastrement de la fondation (profondeur à laquelle se trouve la base de la fondation (m) ; N_q : Facteur de portance obtenu par interpolation ; σ_{max} : Contrainte maximale imposée au sol de fondation (MPa).

▪ Murs Bajoyers

○ Caractéristiques géométriques

Nous allons faire un prédimensionnement afin de trouver les caractéristiques géométriques des murs bajoyers.

Ainsi les épaisseurs supérieures et inférieures, la base de la semelle sont estimées par les formules suivantes :

$e_{sup} \geq \frac{H}{24}$ $e_{inf} \geq \frac{H}{12}$ $B = (0,2 + 0,45 * H) * 1,15$	• H est la hauteur totale (avec ancrage) de la digue en m • e_{sup} l'épaisseur supérieure du mur en cm ; • e_{inf} l'épaisseur de la partie inférieure du mur en cm ; • B est la base de la semelle en m.
---	---

Nous allons dimensionner et présenter le plan de ferrailage grâce au logiciel CYPE 2014

○ Stabilité externe

Vérifier la stabilité du mur bajoyer revient à nous assurer qu'il ne glisse pas (glissement de la base par rapport au sol de fondation), qu'il ne se renverse et qu'il ne s'enfonce pas verticalement dans le sol.

Stabilité au glissement	
$F_G = \frac{C \cdot S + \sum (F_c + W - P_i) \tan \phi}{\sum (P)} \geq 1,2$	F_G : coefficient de sécurité au glissement W : poids propre de l'ouvrage (kN/ml) F_c : Poids du remblai sur la semelle (kN/ml) P : Poussée sur le mur et le talon (kN/ml) P_i : sous pression (kN/ml) C : la cohésion du sol de fondation
Stabilité au renversement	
$F_R = \frac{\sum M_{résistants}}{\sum M_{moteurs}} \geq 1,5$	F_R : coefficient de sécurité au renversement
Stabilité au poinçonnement	
$\sigma_{max} \leq \sigma_{adm.sol}$	

▪ Bassin de dissipation et chenal d'évacuation

Le bassin de dissipation est la partie de l'évacuateur qui sert à dissiper l'énergie de chute et son action érosive. Il doit pouvoir contenir le ressaut hydraulique à l'aval. Le choix du type de bassin de dissipation a été fait en fonction de la vitesse de l'eau à l'entrée du bassin et du nombre de Froude.

Les dimensions géométriques du bassin ont été estimées soit à partir des abaques proposés par GRESILLON et LAHAYE, soit à partir de formules de calcul.

A la suite du bassin de dissipation, délimité par des diguettes de protection. Il sera fait un traitement de manière à éloigner le plus possible les éventuelles érosions régressives. Ainsi, à la sortie du bassin de dissipation, il sera disposé des perrés suivis d'un blocage en gabions.

Les caractéristiques du chenal ont été définies par les lois d'écoulement en surface libre (MAR, 2004).

$\frac{Q_{Projet}}{K_s * \sqrt{I}} = \frac{y_n * (b + m y_n)^{\frac{5}{3}}}{(b + 2 y_n * \sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}}$ $Fr = \frac{V1}{g * y1}$ $V1 = \frac{Qs}{y1}$	Qprojet : débit du projet (m3/s) ; KS: coefficient de rugosité de Manning Strickler ; I : Pente longitudinale (m/km) ; yn : Tirant d'eau normal (m) ; b : largeur en plafond (m) ; V1 : vitesse à l'entrée du Bassin de dissipation (m/s) ; Y1 : Tirant d'eau à l'entrée du Bassin de dissipation(m) ; QS : Débit spécifique (m3/s/ml).
--	---

❖ Ouvrage de prise et de vidange

L'ouvrage de prise servira également de vidange. Il se situe du côté amont du futur périmètre irrigué

Le diamètre de la conduite et le temps de vidange sont déterminés à partir des formules suivantes :

$Q = c * \pi * \frac{D^2}{4} * \sqrt{2gH}$	Q : Débit obtenu par la formule de Torricelli (m3/s) C : coefficient de Torricelli (Source : J. VAZQUEZ ; ENGEES) D : diamètre de la conduite (mm) H : charge de l'eau (m)
--	--

$T = \left(\frac{S}{s}\right)^2 * \sqrt{\frac{2}{g}} * (\sqrt{h_0} - \sqrt{h})$	T : Temps de vidange (s) S : Superficie au PEN s : Section de l'ouvrage de vidange (m²) h₀ : Charge au PEN (m) h : Charge à côté de l'ouvrage de vidange (m)
---	--

IV.4 Estimation des besoins

Pour les besoins en eau de la population, nous considérons la population à l'échelle arrondissement et nous estimons que 1/3 de cette population utilisera directement l'eau du barrage.

➤ Besoins humains et pastoraux

Pour les besoins domestiques ; d'après les enquêtes faites sur le terrain par le bureau d'étude SETEM-CONSEIL et le barrage n'étant pas destiné à l'eau de consommation, nous décidons d'allouer 10 litres/jour/habitant en considérant le taux d'accroissement départementale qui est de 3.16% (source RGPH 2002) à l'horizon du projet.

Les besoins en eau pastoraux ont été estimés à partir du nombre de bétail à desservir et de la consommation qui est de 40 litres/jour/UBT pour le gros bétail et 20 litres/jour/ pour le petit bétail. La population d'UBT a été actualisée à l'aide de l'équation suivante avec des taux d'accroissement qui sont respectivement de 1,5% et 2% (Source : Statistiques du Secteur de l'élevage au Bénin, 2015).

$P_n = P_0 (1 + T_x)^n$	P_n : population à l'échéance du projet ; P_0 : population initiale ; n : nombre d'années ; T_x : taux d'accroissement.
-------------------------	---

➤ Besoins agricoles

Il s'agit des besoins en eau pour le maraîchage en saison sèche. Nous utiliserons les besoins en eau de la plante la plus contraignante à savoir le riz pour l'estimation et la simulation des besoins agricoles (**source : KEITA, 2009**).

➤ Pertes par infiltration

Il faut s'assurer de la bonne imperméabilité de la cuvette pour avoir une bonne rétention d'eau. Notre zone d'étude est un milieu de socle donc une infiltration négligable. Les mesures d'infiltrations n'étant pas fait, Les infiltrations recommandées au Bénin seront consultées pour retenir une valeur d'infiltration.

➤ Pertes par dépôts solides

L'eau de ruissellement sur le bassin versant entraine avec elle des matériaux solides qu'elle arrache tout le long de son parcours. Le calcul des dépôts solides permettra de quantifier l'arrivée de ces matériaux dans la retenue. Les méthodes que nous utiliserons pour la détermination des dépôts solides sont :

Formule de GOTTSCHALK	
$D = 260 * S^{(-0,1)}$ et $V = D * S$	D est la dégradation spécifique en $m^3/Km^2/an$; S est la superficie du bassin versant en Km^2 ; V est le volume des dépôts solides en m^3.
Formule de CIEH ou de GRESILLON	
$D = 700 * (\frac{P}{500})^{-2,2} * S^{-0,1}$ et $V = D * S$	D est la dégradation spécifique en $m^3/Km^2/an$; S est la superficie du bassin versant en Km^2 ; P la pluviométrie annuelle moyenne sur le bassin versant en mm ; V est le volume des dépôts solides en m^3.
Formule de KARAMBIRI ou de GRESILLON modifiée	
$D = 137 * (\frac{P}{500})^{-2,02} * S^{-0,05} * [0,25 + 1,13 * (h + r)^{-1,15}]$ et $V = D * S$	D est la dégradation spécifique en $m^3 / Km^2/an$; S est la superficie du bassin versant en K^2 ; P la pluviométrie annuelle moyenne sur le bassin versant en mm ; h est un paramètre anthropique ; r est un paramètre morphologique ; V est le volume des dépôts solides en m^3.

(Source : M.GUEYE, 2007).

➤ Pertes par évaporation

La lame d'eau évaporée au niveau de la retenue sera évaluée par la méthode de POUYAUD (Source : Cours de barrage de M.GUEYE, 2006).

$E_{lac} = 1,664 * E_{bacA}^{0,602}$	E_{lac} : évaporation du plan d'eau (mm/j) E_{bacA}: évaporation au bac A (mm/j)
--------------------------------------	--

IV.5 Bilan global et simulation

Après avoir quantifié tous les besoins et toutes les pertes qui se dégagent dans la retenue, nous procéderons à une simulation de la retenue et nous établirons la courbe d'exploitation de la retenue suivi d'une étude financière.

IV.6 Etude d'Impact environnemental et Social

Dans un contexte de changement climatique qui paraît irréversible, nous établirons les impacts susceptibles d'être générés par le projet de construction du barrage de Sinaou. Des mesures fortes seront proposées pour non seulement limiter les impacts négatifs tant en phase de construction qu'en phase d'entretien et d'exploitation ; mais aussi et surtout bonifier les impacts positifs dans le milieu récepteur du projet.

V. Etudes techniques du barrage de Sinaou

V.1 Définition de la période de retour

Le dimensionnement des grands ouvrages hydrauliques nécessite la définition claire d'une période de retour qui tient compte surtout de la taille de l'ouvrage.

Pour le cas précis des barrages, G.DEGOUTTE a proposé en 1993 des recommandations pour le choix de la période de retour. Pour lui, la période de retour doit être choisie en fonction du produit entre la hauteur du barrage (en m) au carré, et de la racine carrée de son volume (en hm^3) ;(source : cours de barrage de M. GUEYE, page 61, année 2006).

Nous avons utilisé la relation de G.DEGOUTTE pour fixer la période de retour du barrage de Sinaou dont les paramètres sont consignées dans le tableau n°03.

Tableau 3: choix de la période de retour

$H^2\sqrt{V}(hm^3)$	< 5	5 à 30	30 à 100	100à 700	> 700
Période de retour (ans)	100	500	1000	5 000	10 000

La retenue du barrage de Sinaou a une cote moyenne de 8.4 m et un volume 1 898 990 m^3 . Le produit $H^2* \sqrt{V}(hm^3) = 97.08$

Une période de retour de 1000 ans est alors recommandée par G.DEGOUTTE pour le barrage de Sinaou. Toutefois, au regard de l'ensemble des barrages réalisés au Bénin et de la taille

modeste de la retenue, nous optons pour une période de retour de 100 ans. Ceci permet de diminuer considérablement le coût de l'ouvrage sans pour autant compromettre sa durabilité.

V.2 Etudes hydrologiques

V.2.1 Caractérisation du bassin versant

Le bassin versant du barrage de Sinaou a une superficie de 56 km² avec un indice global de pente de 5.48. Le bassin par définition est une surface délimitée par des lignes de crête dans laquelle toutes les eaux tombées alimentent un même exutoire.

Sur le plan national, le bassin versant du barrage de Sinaou est un sous bassin versant du Mekrou.

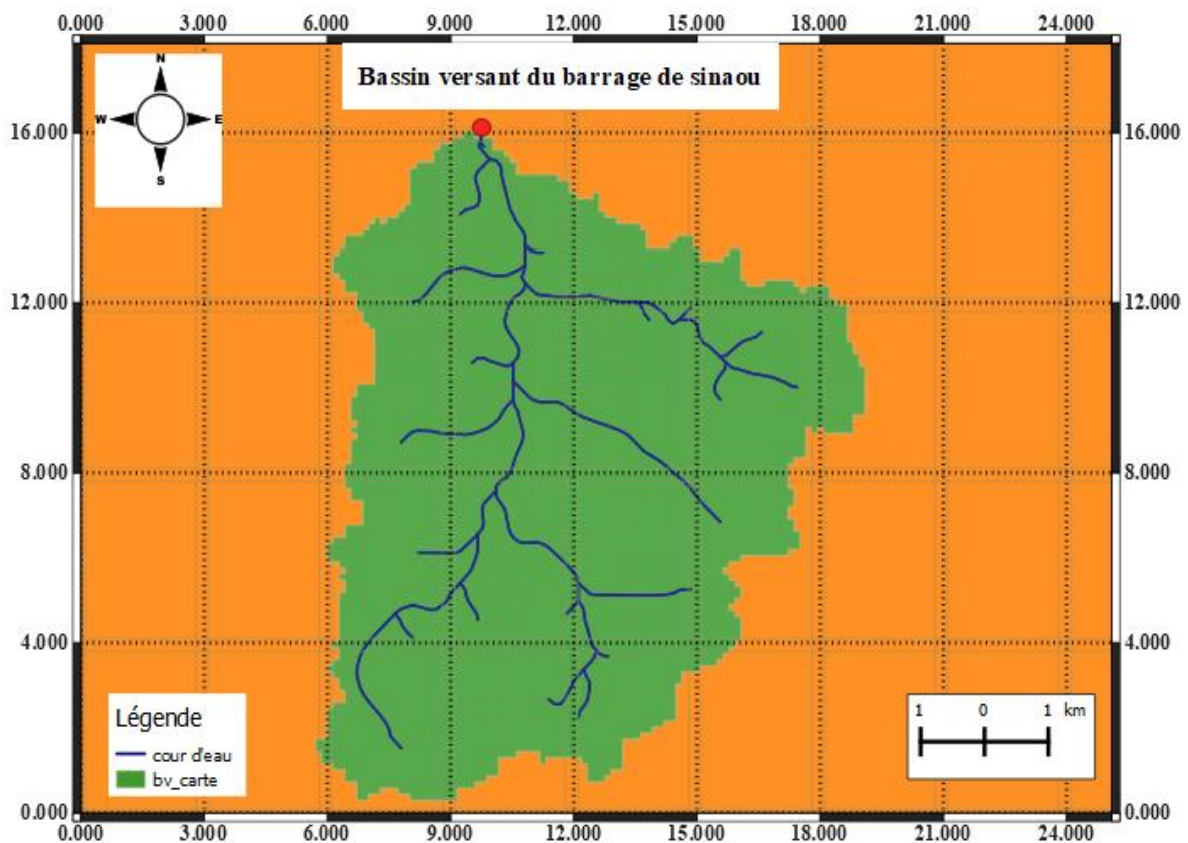


Figure 3: Carte du bassin versant du barrage de Sinaou

Tableau 4: caractéristiques physiques du bassin versant du barrage de Sinaou.

Paramètres Physiques du bassin versant : Sinaou au Benin			
Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Surface	S	56	Km ²
Périmètre	P	45	Km
Côte à 5%	H5%	405	m
Côte à 95%	H95%	358	m
Dénivelée (D = H5% - H95%)	D	47	m
Indice de Compacité ($I_{comp} = 0,282 \times P \times S^{-(1/2)}$)	I_{comp}	1,696	-
Longueur du rectangle ($L_{rect} = S^{(1/2)} \times (I_{comp}/1,128) \times (1 + (1 - (1,128/I_{comp})^2)^{(1/2)})$)	L_{rect}	19,650	Km
Largeur du rectangle ($l_{rect} = S/L_{rect}$)	l_{rect}	2,850	Km
Pente longitudinal	$I = 0,026/S^{0,5}$	0,003	
Longueur du réseau	L	10,9	Km

Le détail des calculs figure en **Annexe 1**

➤ Courbe hypsométrique

C'est une courbe qui montre la répartition de la superficie du bassin versant en fonction de l'altitude. Elle donne une vue synthétique de la pente du bassin versant, donc du relief. Ceci permet de se faire une idée de comment les écoulements se feront jusqu'à l'exutoire.

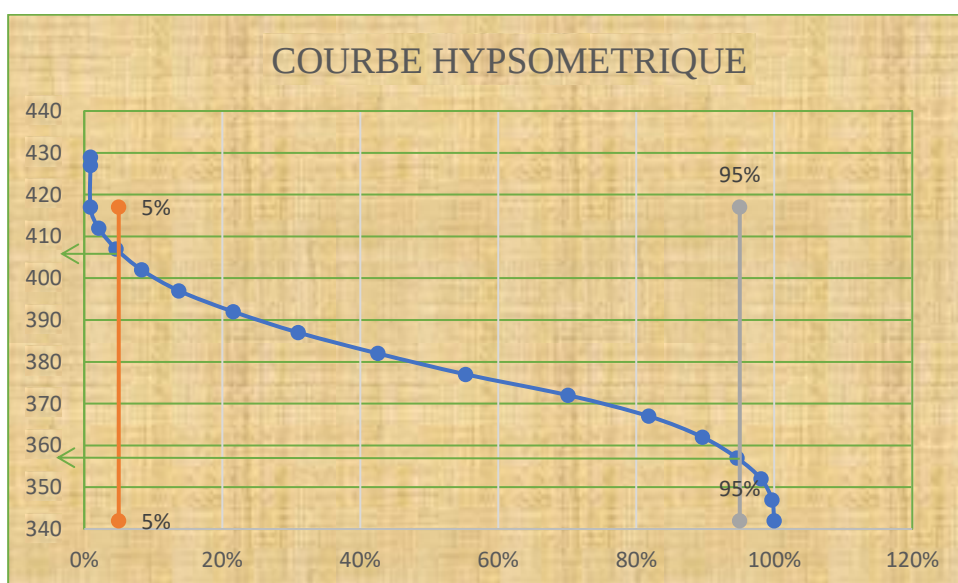


Figure 4: Courbe hypsométrique

V.2.2 Analyse fréquentielle des pluies

✚ Analyse des pluies annuelles moyennes de la station pluviométrique de Bembereké

La synthèse de l'analyse des pluies annuelles moyennes par la loi de GAUSS nous donne les résultats consignés dans le tableau n°05.

Tableau 5: Description statistique des pluies annuelles de Bembereké

Désignations	Valeurs
Valeur maximale (mm)	1457,7
Valeur minimale (mm)	699
Moyenne (mm)	1130,68
Ecart type (mm)	199,9
Coefficient de variation (%)	18%

Pluies maximales journalières de la station pluviométrique de Bembereké

La synthèse de l'analyse des pluies maximales journalières par la loi de GUMBEL nous donne les résultats dans le tableau n°06.

Tableau 6: Description statistique des pluies maximales journalières de Bembereké

Désignations	Valeurs
Valeur maximale (mm)	181
Valeur minimale (mm)	40,8
Moyenne (mm)	81
Ecart type (mm)	31,19
Coefficient de variation	38%

Les coefficients de variation des deux échantillons sont inférieurs à 1. Nous déduisons que ces données sont représentatives et peuvent donc être utilisées.

Les résultats des quantiles issus de l'analyse fréquentielle et qui seront utilisés par la suite sont consignés dans le tableau n°07.

Tableau 7: Synthèse de l'étude pluviométrique

Désignations	Valeurs
Pluie annuelle moyenne (Pan) (mm)	1 130,68
Pluie décennale humide (mm)	1 481,58
Pluie décennale sèche (mm)	969,67
Pluie centennale sèche (mm)	800,43
Pluie centennale humide (mm)	1 732,27
Pluie journalière maximale de fréquence décennale humide (P10) (mm)	137,36
Pluie journalière maximale de fréquence centennale humide (P100) (mm)	205,69

La valeur moyenne de la pluviométrie annuelle est de l'ordre de 1 130,68 mm/an. La zone du projet est située entre les isohyètes 750 et 1200mm. Cette zone climatique correspond au climat tropical sec. (Voir annexe 4 pour le détail des résultats).

V.2.3 Débit de projet

Nous avons les résultats dans le tableau n°08 pour le débit de projet. (Voir **Annexe 4** pour le détail des calculs).

Tableau 8: Valeurs des débits

Méthode	CIEH	ORSTOM	Gradex		
Débit en m³/s	Q10	Q10	Q10	C	Q100
	49,28	45,67	49.28	3.2	159.46

Hydrogramme des crues

L'hydrogramme est le graphique de la variation temporelle du débit d'écoulement. Le débit de discontinuité vaut : $Q_d = 45.6 \text{ m}^3/\text{s}$.

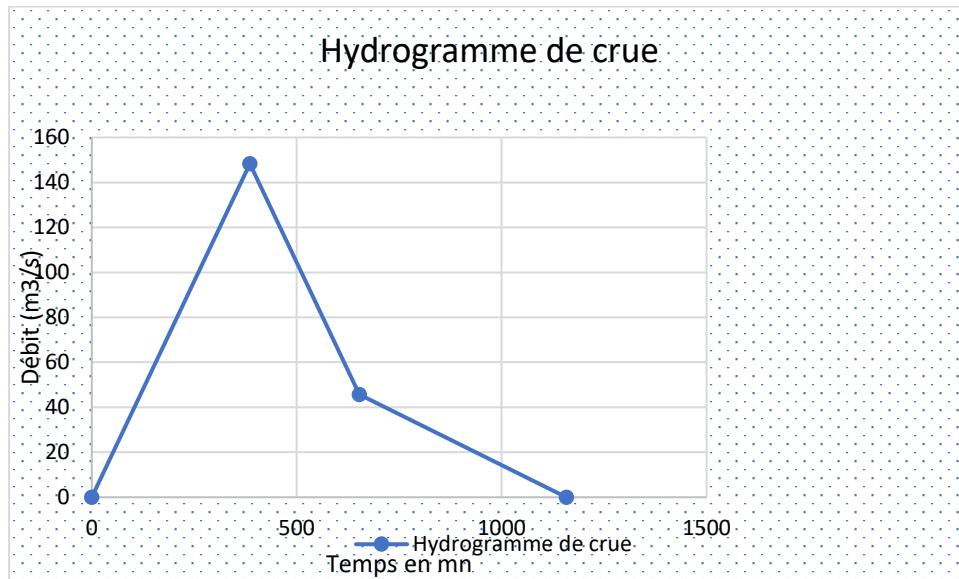


Figure 5: Hydrogramme des crues

Crue de rupture du barrage

La crue de rupture vaut : $Q_{\text{rupture}} = 9525.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Ainsi en cas de rupture, des investigations pourront être faites pour déterminer la cause de la rupture.

V.2.4 Etudes des apports

En appliquant la méthode de Vuillaume-Dubreuille, on obtient les coefficients d'écoulement ainsi que les volumes des apports liquides présenté dans le tableau n°09.

Tableau 9: Coefficients d'écoulement

DESIGNATION	Années		
	Moyenne	Quinquennale Sèche	Décennale Sèche
Coefficients d'écoulement	20 %	16 %	11 %
Apports (m³)	14 938 165	9 718 137	6 119 081

V.3 Etudes de la retenue

V.3.1 Etudes de la digue

Caractéristiques géométriques de la digue

Tableau 10: Caractéristiques de la digue

Désignation	Valeurs	Unités
Cote crête de la digue	349.8	m
Cote fond de la digue	340	m
Hauteur maximale de la digue	9.8	m
Lame d'eau déversante h	0,8	m
Revanche libre	0.6	m
Cote PEN	348,4	m
Pente des talus (amont et aval)	1V/2H	
Largeur en crête	6	m
Epaisseur du drain	0,50	m

Le rapport géotechnique montre une granulométrie étendue dans la retenue (Source Rapport APD_BUREAU SETEM, 2015). L'option retenue est de construire une digue homogène à cause du caractère étendu des matériaux utilisables au regard de leurs courbes granulométriques et sédimentométriques produites à l'issue des analyses en laboratoire.

Protection des talus et de la crête de la digue

Protection du talus amont	Le talus amont sera protégé contre le battillage par une couche de perré sec en enrochement de moellons latéritiques ou granitiques de 0,4 m d'épaisseur, soigneusement rangés à la main et destinés à éviter que les matériaux terreux qui constituent le barrage ne soient érodés par les vagues. Les enrochements seront posés sur une couche de pose de grave latéritique d'une épaisseur de 0,20 m. Le pied amont de la digue sera protégé par une butée de pied amont, ouvrage triangulaire en enrochements, de 1,50 m de largeur en gueule et 0,50 m de profondeur. De part et d'autre du déversoir, le perré sera
---------------------------	---

	posé sur une largeur de 5 m car ces zones sont les plus sensibles à l'action érosive des eaux.
Protection du talus aval	Afin de lutter contre l'action érosive de l'eau, celle des animaux et du vent et de tenir compte des changements climatiques, le talus aval sera également protégé par une couche de perré sec constituée d'enrochements latéritiques ou granitiques de 0,40 m d'épaisseur soigneusement posés à la main sur une couche de pose de grave latéritique d'une épaisseur de 0,20 m. Un fossé drain sera aménagé au pied du talus pour collecter les eaux pluviales et les eaux d'infiltration en provenance du corps de la digue. Il sera revêtu en enrochements soigneusement rangés à la main. C'est un ouvrage triangulaire comme la butée de 1,50 m de largeur en gueule et 0,50 m de profondeur.
Protection de la crête de la digue	Il est nécessaire de protéger la crête pour lutter contre la dessiccation mais aussi pour assurer la circulation éventuelle d'engins. La protection sera constituée d'une couche de couronnement en matériaux graveleux latéritique compacté d'une épaisseur de 20 cm. Elle aura une pente transversale de 3% vers l'amont pour éviter les stagnations d'eau sur la crête et permettre leur ruissellement vers la retenue. Du coté aval, il sera aménagé un mur de crête en maçonnerie de moellons de 0,50 m x 0,50 m, ancré dans la digue de 0,50 m. Le mur de

	crête dépassera la cote du couronnement de 10 cm pour éviter des amorces d'érosion sur le talus aval. Du coté amont, en lieu et place du mur de crête, il sera aménagé un mur parapet en maçonnerie de moellons de 0,50 m x 0,50 m, ancré dans la digue de 0,50 m. Le mur sera équipé de barbacanes de 40 mm de diamètre pour le drainage de la crête de la digue vers le plan d'eau.
--	---

✚ Stabilité des talus de la digue

L'analyse de la stabilité des talus effectuée à l'aide du logiciel Géoslope nous donne des coefficients de sécurité supérieurs à 1,20.

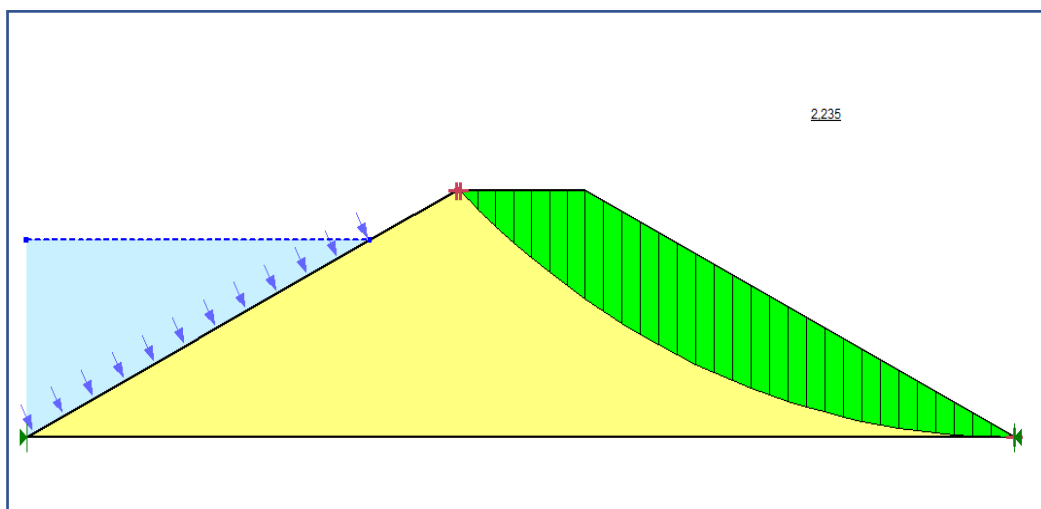


Figure 6: vérification de la stabilité des talus de la digue

Nous concluons donc que la stabilité des talus de la digue est assurée.

✚ Tranchée d'ancrage

Pour dimensionner l'ancrage de la digue, on applique la formule dite de LANE qui permet de vérifier la condition de non apparition du phénomène de renard. Les dimensions horizontales étant arrêtées, il s'agira de déterminer la profondeur minimale de la fondation. Selon les sondages des emprunts, on note la présence d'argile peu plastique le long de la digue et dans la cuvette. Par conséquent on retiendra une valeur de $C = 3$ pour la vérification de la lutte

contre l'effet de renard car il s'agit de l'argile plastique (source : COMPAORE.L, 1996). Cette vérification qui consiste à allonger les lignes d'écoulement figure en **Annexe 5**.

Pour des raisons de facilité de mise en œuvre, la tranchée d'ancrage sera de section trapézoïdale avec une largeur au plafond de 3,50 m avec une pente des talus de 3V/H.

V.3.2 Caractéristiques de la cuvette

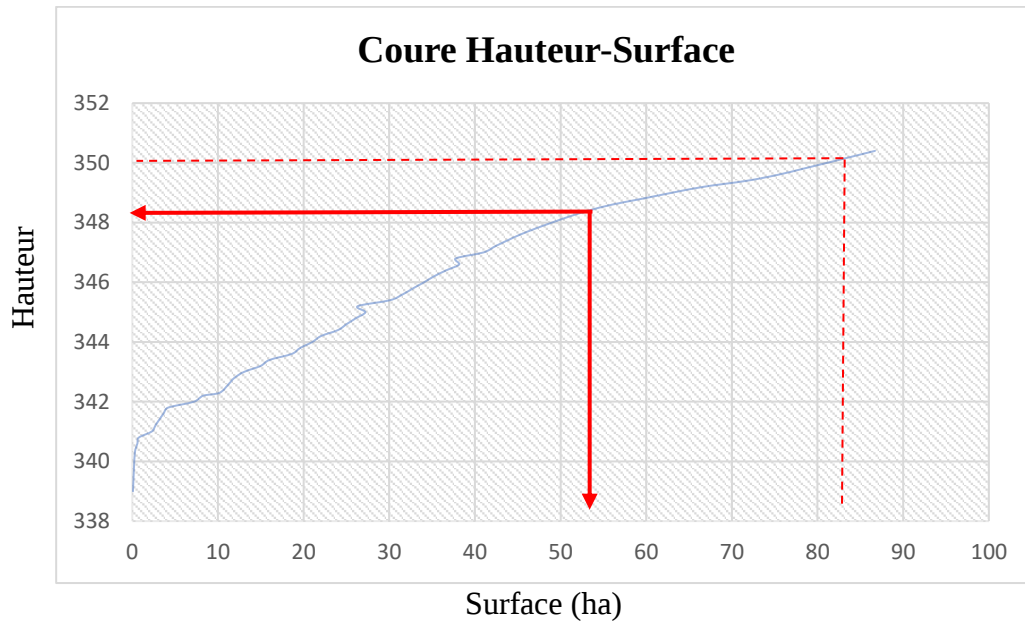


Figure 7: Courbe hauteur-surface

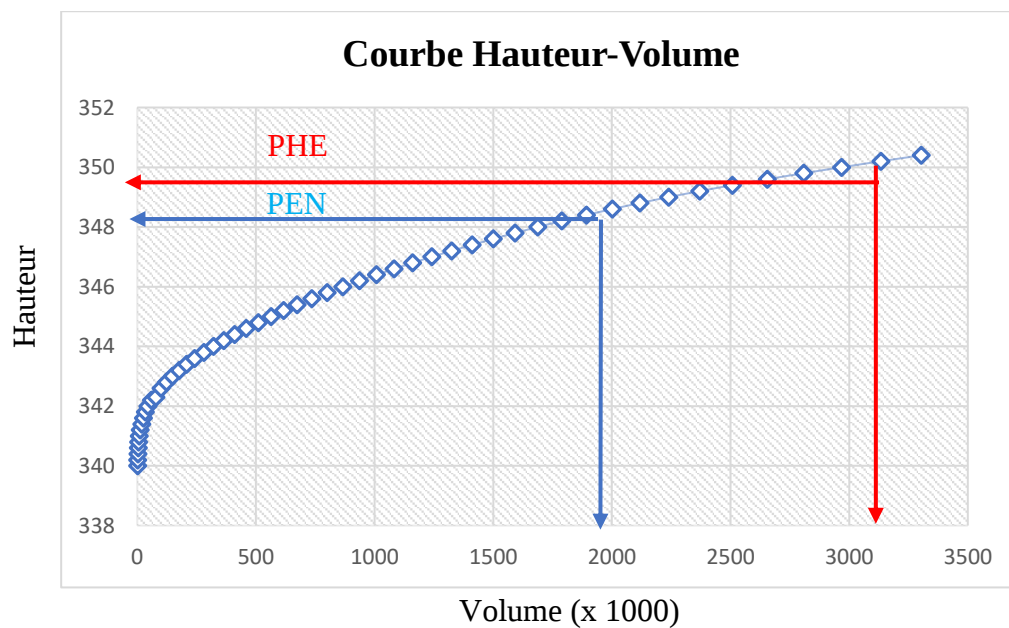


Figure 8: Courbe hauteur-volume

Tableau 11: Caractéristiques de la retenue

Cote Plan d'Eau Normal	348.4	m
Capacité de stockage de la cuvette	1 892 990	m ³
Superficie du plan d'eau normal	54	ha
Lame d'eau déversant	0,8	m
Cote Plan des Hautes eaux (PHE)	349.2	m
Superficie du plan des hautes eaux	82	ha
Apports Quinquennale sèche	9 718 137	m ³

(Confère **Annexe 5** pour le détail des calculs)

V.4 Ouvrages annexes

V.4.1 Le déversoir et les murs bajoyers

❖ Le déversoir

Nous retenons un déversoir de longueur 160,00 m contre 152 m calculée dont les stabilités externe et interne sont vérifiées avec des coefficients de sécurité au glissement de 1,26 et celui au renversement qui est de 1.86

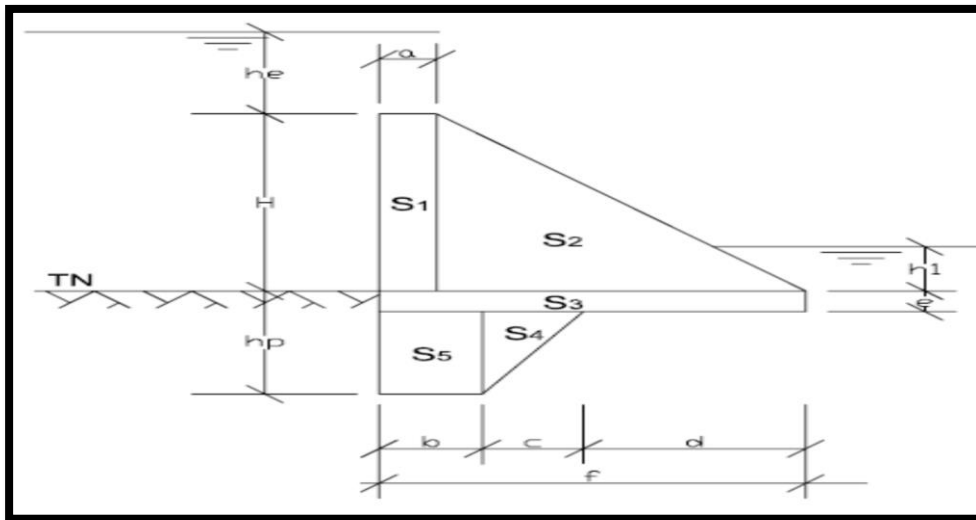


Figure 9: Géométrie du déversoir

Les caractéristiques géométriques du déversoir sont consignées dans le tableau n°12.

Tableau 12: Caractéristiques géométriques du déversoir

Désignation	Valeurs	Unité
a	1	m
b	2	m
c	3	m
d	3	m
e	1	m
f	9	m
hp	2	m
H	8	m

(Confère **Annexe 6** pour le détail des calculs)

❖ Les murs bajoyers

✚ Caractéristiques géométriques et actions exercées sur le mur bajoyer

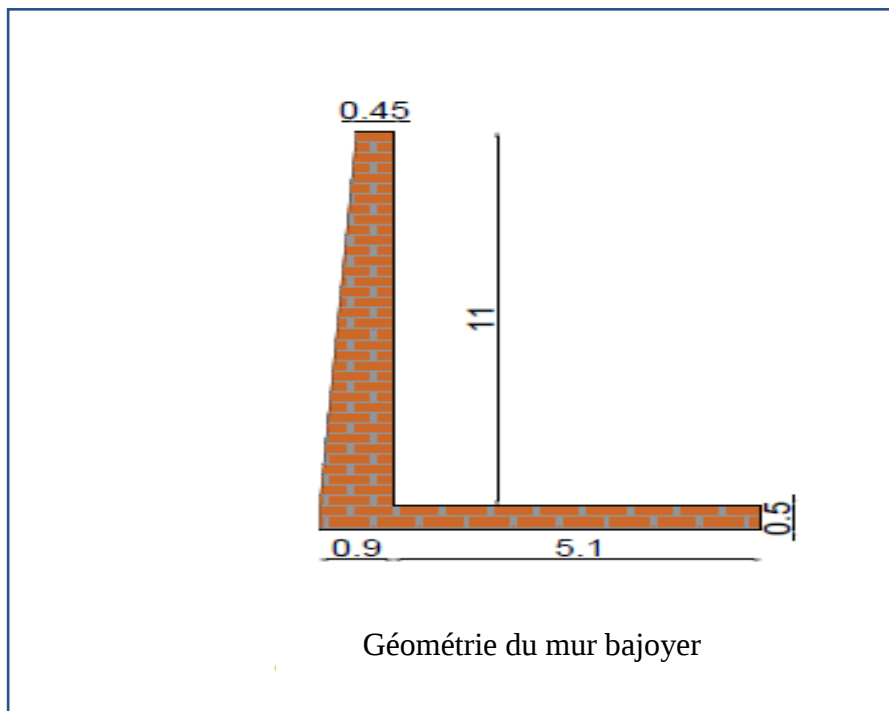


Figure 10: Géométrie du mur bajoyer

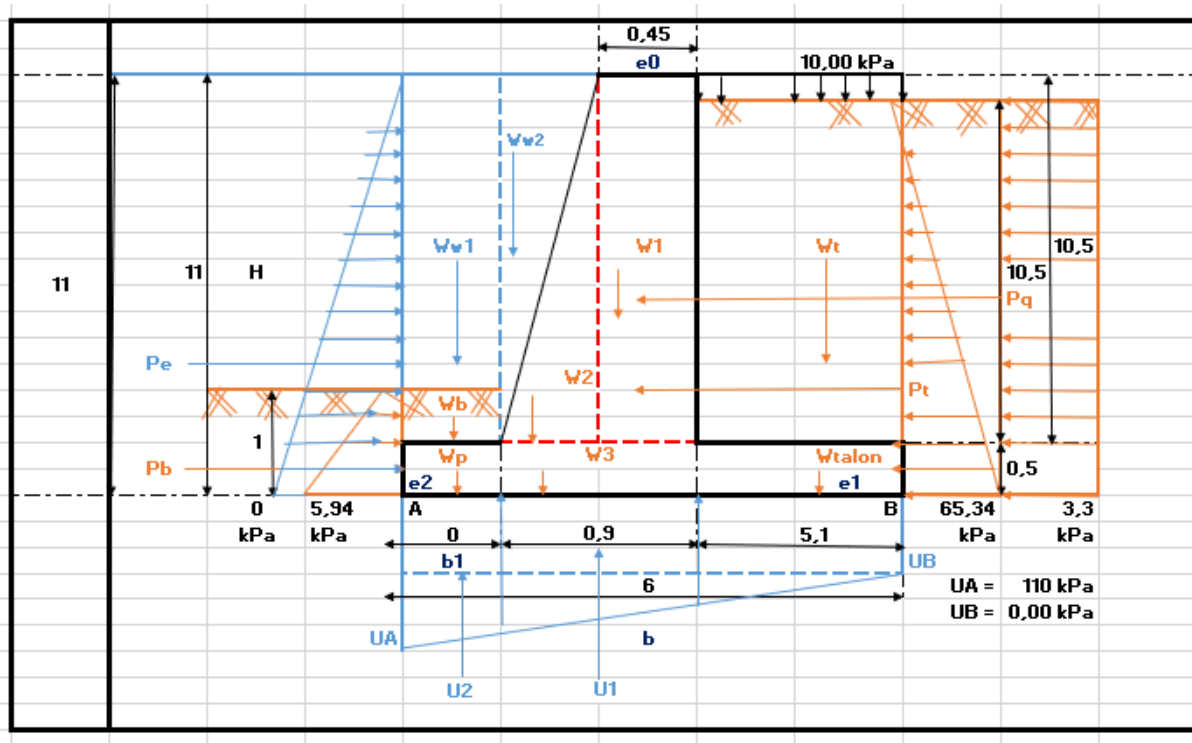


Figure 11: Actions mécaniques exercées sur le mur bajoyer

Stabilité du mur bajoyer

La vérification de la stabilité du mur bajoyer nous a donné des coefficients de sécurité au glissement et au renversement qui sont respectivement de **1.44** et de **1.74**

En outre la règle du tiers central est respectée et la contrainte maximale imposée est inférieure à la capacité portante du sol d'assise.

On en conclut alors que les murs bajoyers sont stables.

V.4.2 Le bassin de dissipation et le chenal d'évacuation

Tableau 13: Caractéristiques du bassin de dissipation et du chenal d'évacuation

Bassin de Dissipation		
Enfoncement du bassin D	m	1,00
Débit de crue	m ³ /s	148
Débit unitaire	m ³ /s/ml	1,2
Lame d'eau déversant maximale	m	0,8
Tirant d'eau avant ressaut	m	0,4
Vitesse d'eau à l'entrée du bassin	m/s	11,48

Nombre de Froude	Fr	7
Bassin retenue	Bassin USBR de type II Epaisseur du béton = 30 cm	
Longueur de bétonnage du bassin	m	8
Longueur de protection du bassin en enrochement	m	10
Seuil terminal		
Hauteur h4	m	0,20
Pente du talus		1V/2H
Epaisseur au sommet	m	0,20
Epaisseur à la base	m	2,20
Chenal d'évacuation		
Pente longitudinale		
Largeur en plafond	m	160
Longueur du chenal	m	60

V.4.3 Ouvrage de prise et de vidange

Ouvrage de prise

L'ouvrage de prise est implanté en rive droite et est destiné à l'irrigation d'un périmètre de 40 ha. Il est constitué de :

- Un bac amont en béton armé
- Un bac aval de réception des eaux en béton armé, abritant un robinet vanne de diamètre $\Phi 800$ mm ;
- Une conduite en fonte ductile de diamètre $\Phi 800$ mm

Tableau 14: Dimensionnement de l'ouvrage de prise

V (m3)	J (jours)	Q (m3/s)	Hauteur d'eau h(r)m		Diamètre D (m)	Diamètre D (mm)
1 587 032,52	25	0,735	5,4	0,7	0,6	617,9
	20	0,918			0,8	772,4
	19	0,967			0,8	813,0
	18	1,020			0,9	858,2
	15	1,225			1,0	1029,8
	11	1,670			1,4	1404,3
	10	1,837			1,5	1544,7

Nous retenons une conduite de 800 mm de diamètre pour un temps de vidange de 20 jours avec un débit de vidange de 0,918 m³/s, soit 918 l/s.

V.5 Estimation des besoins et des pertes

Tableau 15: Hypothèse d'évaluation des besoins en eau

Domestiques			Pastoraux			
Hypothèses	Nombre d'Habitant Horizon projet	16912		Petit bétail	Gros bétail	Pisciculture
	Cs (l/jr/habitant)	15	Nombre têtes	4092	4408	12 etangue de
			Cs (l/jr/tête)	10	40	300m2
Total	253680			40920	176320	36000

Tableau 16: Besoins humains et pastoraux

Estimation des besoins humains et pastoraux						
Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
Durée	30	31	31	28	31	30
Besoins Humain	18904,83	19535,00	19535,00	17644,51	19535,00	18904,83
Besoins Pastoraux	88068,00	91003,60	91003,60	82196,80	91003,60	88068,00
Total besoin m ³ /mois	106 972,83	110 539	110539	99841	110539	106973

Tableau 17: Besoin agricole

Besoin agricole : Riz le plus contraignant					
Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Durée (jrs)	30	31	31	28	30
Kc	1,2	1,05	1,1	1,2	1,05
Kc retenue	1,125	1,11	1,16	1,17	1,05
ETO (mm/j)	4,41	4,07	4,35	4,91	5,91
ETM (mm/j)	4,96	4,41	5,08	5,39	6,20
ETM (mm)	148,84	136,75	157,47	151,01	186,16
P (mm)	6,3	6,6	3,8	9,2	39,4
Pe(mm)	6,2	6,5	3,8	9,1	36,9
ETM-Pe	142,64	130,25	153,67	141,91	149,26
Besoins nets (m ³ /ha)	2139,56	1563,02	1844,04	1702,87	1791,18
besoin en eau	89861,62	65647,01	77449,68	71520,75	75229,56
besoins totaux(m³)	379 708,63				

Tableau 18: Pertes par évaporation et par infiltration

Perte par Evaporation							
Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mais
Evaporation Bac (mm)	170,3	204,1	227,2	235,2	255,8	218,3	180,2
Evaporation Lac (mm)	142,0	158,3	168,9	172,4	181,4	164,9	146,9
Total annuel	1134,8						
Perte par infiltration							
Infiltration(2mm)	2	2	2	2	2	2	2
Durée(jours)	30	31	31	28	31	30	31
Inf/mois(mm)	60	62	62	56	62	60	62
Inf Annuel(mm)	424						

Tableau 19: Pertes par dépôts solides

Désignation	Dégradation spécifique m ³ /Km ² /an	Dépôts solides m ³ /an
GRESILLON	70,30	3936,86
KARAMBIRI	61,48	3442,64
Moyenne		3689,75

Tableau 20: Simulation de la retenue

Période	Début période		Evaporation			Infiltration			Irrigation	Pastorale	Fin de période	
	Niveau	Volume	Hauteur d'eau évaporée (mm)	Nouveau niveau	Volume corresp (m3)	Hauteur d'eau infiltrée	Nouveau niveau	Volume corresp (m3)	Volume consommé	Volume consommé	Volume	Niveau
Nov	348,4	1 892 990,00	141,98	348,26	1 818 980,94	60,00	348,20	1 787 705,94	89 861,6	106 972,8	1 590 871,48	347,80
Déc	347,8	1 590 871,48	158,33	347,65	1 511 704,69	62,00	347,58	1 480 704,69	65 647	110 538,6	1 304 519,08	347,20
Janv	347,2	1 304 519,08	168,89	347,03	1 237 566,28	62,00	346,97	1 208 925,38	77 449,6	110 538,6	1 020 937,10	346,56
Fév	346,5	1 020 937,10	172,45	346,39	961 241,97	56,00	346,33	936 296,77	71 520,7	99 841,3	764 934,70	345,86
Mars	345,8	764 934,70	181,39	345,67	668 152,11	62,00	345,61	641 458,01	75 229,5	110 538,6	455 689,85	344,92

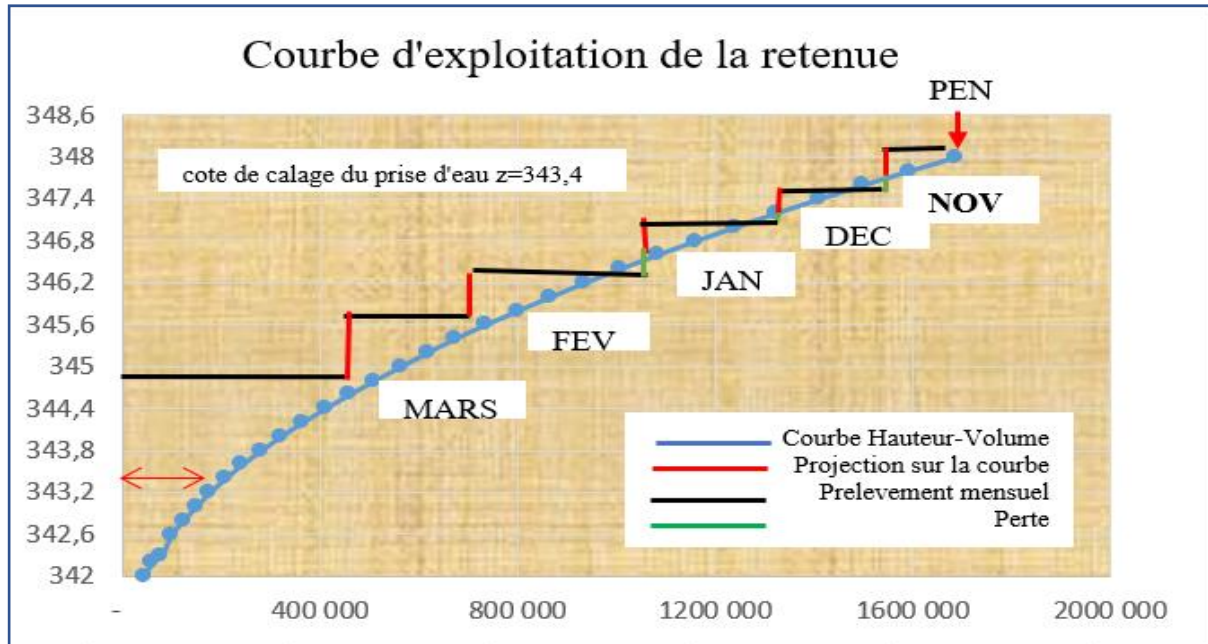


Figure 12: Courbe d'exploitation de la retenue

VI. Etudes financières

L'étude financière a consisté à faire dans un premier temps un avant-métré pour faire ressortir les cubatures de la tranchée d'ancrage et de la digue ; les fouilles pour la fondation du déversoir ; le volume de béton nécessaire pour le déversoir et ses ouvrages annexes, la quantité des gabions pour le chenal d'évacuation.

Ensuite nous avons appliqué des coefficients majorateur pour tenir compte soit des pertes éventuelles ; soit du foisonnement et du tassement.

Les prix unitaires ont été appliqués à chaque quantité pour dégager le prix de chaque ouvrage. La somme des prix des différents ouvrages nous donne le coût global du barrage qui est inscrit dans le tableau n°21.

Tableau 21: Synthèse du coût des travaux

Désignation	Montant (franc CFA)
Installation générale de chantier	72 500 000
Digue	215 218 337
Evacuateur de crue	881 480 623
Diguette de protection	99 876 600
Ouvrage de prise	48 600 000
Mise en œuvre du PGES	68 600 000
Totale Général	1 886 275 583

(L'avant-métré figure en annexe 7 et le devis estimatif des travaux figurent en Annexes 9).

VII. Notice d'Impact Environnemental et Social

Il s'agira pour nous de faire une étude d'Impact Environnementale Sociale Simplifiée ou notice d'impact environnementale du barrage de Sinaou.

Cette étude consiste à analyser le projet afin d'identifier, d'évaluer et de proposer des mesures d'atténuation des impacts du projet sur l'environnement.

VII.1. Identification des sources et des récepteurs d'impacts

Les impacts du projet de construction du barrage de Sinaou seront caractérisés par les sources d'impacts et les récepteurs d'impacts.

- ✓ Les sources d'impacts : les sources d'impacts potentiels sont définies comme l'ensemble des activités prévues lors des travaux de reconstruction, d'exploitation et d'entretien de la retenue d'eau.
- ✓ Les 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 comme les sols, l'eau de surface et l'eau de nappe, la végétation, l'habitat, la faune, les environnements sonore et climatique.

La synthèse des sources des impacts et des récepteurs d'impacts en phase construction ainsi qu'en phase exploitation et entretien est conférée en **Annexe 8**.

VII.2. Contenu du Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES)

Le Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) est un outil de gestion environnemental du projet qui présente les impacts, les sources d'impacts, les récepteurs, les actions environnementales retenues, et leurs objectifs et tâches, les acteurs impliqués, la localisation des actions. Il est consacré à la formulation d'un ensemble de mesures destinées à réduire voire éliminer les impacts négatifs du projet sur l'environnement pendant et après les travaux. Vu que les impacts négatifs sont dans l'ensemble mineurs, les propositions de mesures formulées sont de trois types à savoir :

- les mesures d'atténuation des impacts négatifs ;
- les mesures de bonification des impacts positifs ;

- les mesures d'accompagnement.

(Voir l'annexe 8, le Plan de Gestion Environnementale et Sociale)

Le coût global du PGES s'élève à la somme de 68 600.000 FCA TTC

VIII. Analyse comparative sur l'APD

VIII. 1 Analyse des pluies

L'échantillon de pluie considéré dans l'APD était de la station de Bembereké et Parakou et se limite à la période 1971 à 2012. Ces Stations sont les plus proche du site de Sinaou avec des données représentatives selon nos recherche.

-pluie décennale (P10) = 969.67 mm égale à celui de de l'APD.

VIII.2 Les paramètres du bassin versant

Le réseau hydrographique de la zone du projet a été bien localisé dans le bassin versant.

-les caractéristiques morphologiques du bassin ont été déterminées par SIG à partir du logiciel Global Mapper.

-superficie (S) = 56 Km² contre 54 km² indiqué à l'APD

-périmètre (P) = 45 Km contre 43.64 Km dans l'APD

Au regard de la méthode utilisée dans l'APD (La détermination des paramètres morphométriques du bassin versant du site du barrage a été faite à partir de l' atlas hydrographique de la DG-Eau.), sur carte au 1/200 000 : moins précise que par SIG s'expliqueraient ces écarts.

Tableau 22: Analyse comparatif des paramètres du BV de l'APD et Actualisé

Caractéristique du bassin versant	Unité	Résultats APD	Actualisation
Superficie	Km ²	54	56
Périmètre	Km	43.64	45
Indice global des pentes	-	4.1	5.48
Altitude max	m	400	427
Altitude min	m	329	342
Longueur du cour d'eau	km	17.22	10.9
Temps de base	mn	1728	1158
Temps de monté	mn	540	386
Débit calculé	m ³ /s	68.3	159.46
Débit de projet	m ³ /s	168	148

Le choix de l'évacuateur de crue a été guidé entre autres par le souci de minimiser le coût de réalisation de l'ouvrage. Le déversoir sera de type seuil poids et aura une longueur de 120 ml. Cependant, au regard du début de crue retenue à l'APD, 68.3m³/s et des apports en eau, il apparait alors que le barrage ne sera pas en sécurité pendant son exploitation.

La longueur du bassin de dissipation retenu à l'APD, 03m ne protège pas le déversoir. Nous proposons de rallonger jusqu'à 08 m afin d'assurer la sécurité du déversoir.

IX. Conclusion

De l'examen du dossier d'APD réalisé par le bureau d'étude, il ressort que les études sont complètes mais présente des insuffisances considérables à prendre en compte. Il s'agit particulièrement de la caractérisation du bassin versant et la crue de projet retenu.

Notre analyse et étude menés ont permis de corriger les données hydrologiques puis d'améliorer la sécurité du barrage contre les crues.

La prise en compte de différentes corrections entrainerait une diminution d'environ 3% du coût prévisionnel facturé par l'entreprise.

Le projet définitif détaillé (PDD) pour la construction du barrage de Sinaou peut ainsi être validé par l'actualisation de l'APD, moyennant la prise en compte des corrections et recommandation ci-dessus.

La démarche adoptée pour les études techniques s'est orientée vers des choix optimum pour d'une part garantir la sécurité de l'ouvrage et d'autre part faire des économies. L'ouvrage permet de stocker un volume d'eau de **1 898 990 m³**. Cette capacité est suffisante pour les besoins humains, pastoraux, la pisciculture ainsi que l'irrigation d'un périmètre de 40 ha à l'aval.

Dans un contexte de changement climatique irréversible, une étude d'impacts environnementale et sociale a été faite pour d'une part minimiser les effets négatifs du projet et d'autre part bonifier ses impacts positifs sur le milieu naturel.

A terme, le présent projet a été d'une utilité majeure pour nous en ce sens qu'il nous a permis d'une part de mettre en pratique les acquis et techniques en sciences de l'ingénieur ; mais aussi et surtout de mieux nous imprégner de la vie de l'ingénieur en bureau d'études. L'ingénieur devra toujours confronter chaque fois qu'il est possible, plusieurs solutions techniquement faisables et retenir celle qui garantit un optimum économique tout en garantissant une bonne insertion du projet dans le milieu naturel.

X. Recommandations

Pour assurer la durabilité du barrage de Sinaou, nous préconisons les actions suivantes :

- ✓ La mise en place d'un seuil de décantation pour lutter contre l'ensablement éventuel de la cuvette ;
- ✓ La mise en place d'un comité de gestion inclusive du barrage de Sinaou ;
- ✓ Un aménagement optimal et une bonne distribution des parcelles du périmètre ;
- ✓ La réalisation de gardes fous au droit des deux côtés du déversoir ;
- ✓ La réalisation de bornes pour limiter les PHE ;
- ✓ La délimitation d'une bande de servitude (100 m au moins des PHE) ;
- ✓ La réalisation d'une échelle limnimétrique pour suivre la variation de l'eau dans la retenue ;
- ✓ Un entretien périodique des ouvrages du barrage (dessouchage les arbustes dès leur apparition sur la digue, ...).

XI. Bibliographie

- ❖ COMPAORE.L (1996). Cours de barrage, Licence 2 et 3 EIER ;
- ❖ DEGOUTTE.G (1997). PETITS BARRAGES, recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi. Cemagref
- ❖ DURAND.M, ROYET.P, MERIAUX.P, (1998). Techniques de petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale, cours de Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique ;
- ❖ FAO 54, (1996). 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.
- ❖ DURAND.M (1996). Cour de Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique.
- ❖ PUECH.C, CHABI-GONNI.D (1983). Prédétermination des crues de fréquence décennale dans les régions sahéliennes et tropicales sèches.
- ❖ KARAMBIRI.H (1998). Mémoire de fin Etude sur l'envasement des barrages au Burkina Faso pour l'obtention du diplôme d'ingénieur avec grade de master : étude de cas, 99 pages ;
- ❖ GUEYE.I (1996). Cours de barrage Licence 2 et 3 EIER ;
- ❖ LO.M (2016). Cours de barrage 1, Licence 2 et 3, Institut 2iE ;
- ❖ KEITA.A (2009). Cours d'irrigation par aspersion, Master I, Institut 2iE ;
- ❖ Rapport d'Avant-Projet Détaillé (APD) du bureau d'étude SETEM-CONESEIL, 2015

XII. Annexes

Annexe 1 : Détermination des paramètres physiques du Bassin Versant	54
Annexe 2 : Donnée climatologique	55
Annexe 3 : Levé topographique de la cuvette	58
Annexe 4 : Résultats de l'analyse fréquentielle des pluies	59
Annexe 5 : Calculs du débit décennal par la méthode ORSTOM et celle du CIEH	61
Annexe 6 : Dimensionnement de la digue.....	63
Annexe 7 : Dimensionnement du déversoir, du bassin de dissipation et du chenal d'évacuation	66
Annexe 8 : Avant métré	72
Annexe 9 : Notice d'Impact Environnemental et Social	73
Annexe 10 : Evaluation de la retenue	77
Annexe 11 : Plans	81

Annexe 1 : Détermination des paramètres physiques du Bassin Versant

La cote maximale du bassin versant $H_{max} = 405$ m

La cote minimale $H_{min} = 329$ m

La dénivelée vaut : $\Delta H = 47$ m

Le coefficient de compacité de GRAVELLIUS vaut : $KG = 0,28 * P / (\text{Racine}(S)) = 0,28 * 45 * 56^{(-0,5)} = 1.68$

La longueur du rectangle équivalent vaut : $Leq = S^{(1/2)} * (I_{comp} / 1,128) * (1 + (1 - (1,128 / I_{comp})^2)^{(1/2)})$

AN : $Leq = 56^{0.5} * (1.68 / 1,128) * (1 + (1 - (1,128 / 1.68)^2)^{(0.5)}) = 19.65$ Km

La largeur du rectangle équivalent vaut : $leq = (S / L_{rect}) = (56 / 19.65) - 12 = 2.85$ Km

La longueur du réseau hydrographique mesurée vaut : $L_{hydr} = 10.9$ km

La densité de drainage vaut : $Dd = (S / L) = 56 / 10.90 = 5.13$ Km⁻¹

L'indice global de pente vaut $I_g = (D / L_{rect}) = 47 / 19.65 = 2.39$ m/Km

L'indice global de pente corrigé est : $I_{gcor} = (((n - 1) * I_g) + I_t) / n$

AN : $I_{gcor} = (4 - 1) * 2.48 + 11.67 / 4 = 5.48$ m/Km

La dénivelée spécifique $D_s = S * I_g^{(1/2)} = 56 * (5.48)^{0.50} = 41$ m

Annexe 2 : Donnée climatologique

Tableau 23: pluies totales (moyennes mensuelles : (1971 - 2012))

	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANNEE
1971	0	0,1	27,4	47,5	185,3	128,8	164,5	233,4	212,4	18,3	0	17,8	1 035,5
1972	0	1,1	43	116,9	147,2	81,9	163,5	139,9	69,8	136,5	0	43,5	943,3
1973	0	0	33,1	57,4	223,8	250,4	143,4	295,9	252,8	108,4	0	0	1 365,2
1974	4,4	68,3	86	50,6	74,6	194,2	235,2	130	216,5	74,1	9,1	0	1 143,0
1975	0	1,6	0	128,1	84,5	157,6	324,4	189,8	204,8	62,9	2,5	0	1 156,2
1976	0	0	0	47,2	214,3	262	85	152,9	208,9	196,7	38	0	1 205,0
1977	9,8	0	31,8	52,7	79,3	129,5	205	205	152,9	73,4	0	0	939,4
1978	0	0	52,7	190,9	70,7	214	297,1	174,6	213,4	141,6	0	0	1 355,0
1979	0	0	7,2	106,7	157,9	233	194,9	181,3	297,8	62,8	9,5	0	1 251,1
1980	0	0	16,7	101	126	110,9	164,7	282,7	173,7	148,8	1,6	0	1 126,1
1981	0	0	26,6	64	158,3	128,8	57	329,6	149,8	22	0	0	936,1
1982	0	36,3	0	90	126,6	94,4	130,7	131,5	199,4	105,2	20,7	0	934,8
1983	0	0	2	19,3	100,1	126,9	113,9	177,4	82,1	19,1	0	0	640,8
1984	0	0	136,5	54,7	335,2	218,2	172,1	157,4	189,2	76,3	0	0	1 339,6
1985	0	0	68,2	23,5	118,4	115,8	315,8	170,1	303,1	64,5	0	0	1 179,4
1986	0	0	9,4	89,3	114,4	167	189	112,1	248,1	131,9	0	0	1 061,2
1987	8,8	0	11	22,2	68,7	91,6	75,3	258	117	117	0	0	769,6
1988	17,8	3	33,3	107,4	139,9	199,2	322,7	446,9	265,3	74,5	0	4,6	1 614,6
1989	0	0	42,7	81	81	258,4	351,2	352,2	244,6	59,2	0	2,9	1 473,2
1990	16,6	0	0	85,4	108	229,5	182,9	156	178,5	82	13,8	6,8	1 059,5
1991	0	28,8	34	86,3	284,9	244,1	229,5	286,8	195,3	93,1	0	0	1 482,8
1992	0	0	0	118,9	165,6	120,4	200,6	138,9	158,5	29,1	26,1	0	958,1
1993	0	4,3	50,9	13,3	79,8	101	282,9	283,8	265	67,4	0	0	1 148,4
1994	0	0	27,3	67,6	111,2	133,6	276,3	228,4	303,2	163,5	0	0	1 311,1
1995	0	0,1	50,1	133,1	106,5	123,7	209	439,5	267,5	131,8	6,6	3,7	1 471,6
1996	0	2,9	18,4	93,8	112	114,7	292,7	219,5	231,3	56,6	0	0	1 141,9
1997	0	1,5	41,7	149,9	151,2	102,8	96,7	50,7	239,1	145,1	0,6	0	979,3
1998	0	4,1	75,6	23,8	245,4	252,2	229,4	227,9	127,1	153	0	0	1 338,5
1999	0	49,6	87,1	67,3	95	168,8	263,4	137,1	209,8	127,9	0	0	1 206,0

**ETUDE TECHNIQUE POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE SINAOU DANS LA COMMUNE DE OUASSA-
PEHUNCO, DEPARTEMENT DE L'ATTACORA AU BENIN**

2000	1,6	0	69,4	93,5	152,6	94,4	309,3	173	126	101,2	0	0	1 121,0
2001	0	0	0	57,8	56,6	149,3	59	214	311,4	21,7	0	0	869,8
2002	0	0	57,7	45,6	85,6	97,2	110,7	379,9	238,7	50,8	3,9	0	1 070,1
2003	1,9	12,1	27,3	72,3	66,6	223,7	103,3	262,6	234,6	156,7	18,1	0	1 179,2
2004	32	0	6,2	115,2	101,9	215,1	250,9	185,3	203,7	43,1	94	0	1 247,4
2005	0	6,7	55	51,4	48,2	93,8	239,9	133	129,6	99,6	0	0	857,2
2006	2,8	19,1	7,4	41,4	118,3	116,5	129	180,9	194,6	131,8	5,2	0	947,0
2007	0	18,5	1,1	111	213,1	169,4	64,6	223,3	280,7	112,5	2,1	5,4	1 201,7
2008	0	0	20,5	62,1	191,7	295,3	237,9	158	304,3	90,5	0	30,2	1 390,5
2009	0	0	30,4	14,2	94,5	174,7	206,7	252	252,1	215,3	24,8	7	1 271,7
2010	0	0	9,2	130,4	143,3	280,1	135,1	237,1	297,5	63,5	13,9	0	1 310,1
2011	0	41,3	5,7	48,6	140,3	72,5	135,9	205	286,2	104,6	0	0	1 040,1
2012	0,8	16,6	21	113,8	208,3	177,3	250,8	161,5	226,3	134,3	3,7	0	1 314,4

Tableau 24: pluies maximales (moyennes mensuelles : (1971 - 2012))

	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	RECORD
1971	0	0,1	14	32,3	72	69,9	46	46,5	49,4	7,2	0	17,5	72
1972	0	1,1	36,7	45,7	43,9	35,5	37,3	57,5	15,6	67,1	0	22,9	67,1
1973	0	0	14,1	14,8	63,3	56,5	33,8	63,1	53,5	25,8	0	0	63,3
1974	4,2	68,3	43	35,6	27,4	49,5	49,5	37,6	38,2	21,2	9,1	0	68,3
1975	0	1,6	0	36,9	15,6	28,8	113,1	96,6	29	26,7	2,5	0	113,1
1976	0	0	0	27,6	43,7	62,9	33,7	76,9	62,9	42,5	24,2	0	76,9
1977	8,6	0	29,2	51,8	25	52,9	107,5	107,5	41,8	23,4	0	0	107,5
1978	0	0	37	63,7	14	40,8	84,2	34,9	49,8	42,7	0	0	84,2
1979	0	0	3,7	57,2	50,5	4	41,4	39,6	83,7	18,9	6,2	0	83,7
1980	0	0	16,7	37,7	45,7	34,5	46	44,6	37,5	39,1	1,1	0	46
1981	0	0	24,6	53,8	55,6	26,4	13,8	122	50,2	10,4	0	0	122
1982	0	18,8	0	29,2	42,3	21,5	33,6	62,9	33,7	29,8	20,7	0	62,9
1983	0	0	2	12,8	22,1	37,8	43,1	92,6	29,2	16,5	0	0	92,6
1984	0	0	62,7	15,2	51,8	48	43,2	46,7	38,6	16,2	0	0	62,7
1985	0	0	61	10,1	28,3	57,2	64,5	43,9	48,6	39,7	0	0	64,5
1986	0	0	6,3	56,1	31,8	34,1	90,5	42,8	82,5	46,2	0	0	90,5

**ETUDE TECHNIQUE POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE SINAOU DANS LA COMMUNE DE OUASSA-
PEHUNCO, DEPARTEMENT DE L'ATTACORA AU BENIN**

1987	8,8	0	6,2	22,2	24,4	23,9	37,9	48,3	96,8	96,8	0	0	96,8
1988	17,8	1,6	29,2	62,7	48,2	76,1	86,4	176	65,1	21,8	0	4,6	176
1989	0	0	15,7	29,4	29,4	80,2	134,9	72,6	60,8	13,3	0	1,9	134,9
1990	16,6	0	0	29,6	28,1	53,6	33,3	30,6	33,8	30,1	13,8	4,3	53,6
1991	0	18,2	18	72,3	43,3	82,1	44,8	84,7	62,6	25,9	0	0	84,7
1992	0	0	0	57,2	44,7	21,5	63,6	51,1	35,7	15,7	19,6	0	63,6
1993	0	4,3	38,6	6,6	19,6	28,4	51	70,5	73,9	25,6	0	0	73,9
1994	0	0	20,7	26,2	21,1	43,7	128	37,3	70,3	46,4	0	0	128
1995	0	0,1	24,2	89,4	40,3	21,9	76,3	165,2	61,6	31	5,8	3,7	165,2
1996	0	2,9	12,9	62	23,9	44,7	95,7	70,7	89,9	23,2	0	0	95,7
1997	0	1,5	15,9	109,9	24,8	23,7	27	15	54,2	30,7	0,5	0	109,9
1998	0	3,8	75,6	20,9	69,4	68	76,8	53,4	32,5	21,1	0	0	76,8
1999	0	25,4	40,9	26,8	35,3	43,4	46,5	22,7	33,8	32,3	0	0	46,5
2000	1,6	0	46,7	28,4	53,3	39,8	151,7	25,4	21,8	34,4	0	0	151,7
2001	0	0	0	15	16,4	61,7	22,8	44,5	86	8,8	0	0	86
2002	0	0	46,5	21	29,6	23,6	36,6	88,5	45,2	13,9	3,9	0	88,5
2003	1,9	8,9	26,5	27,5	17,7	43,7	29,3	37,2	65,8	71,3	17,6	0	71,3
2004	31,5	0	5,9	87,1	28,5	46,2	49,5	80,3	43,1	27,2	52,2	0	87,1
2005	0	6,5	36,6	19,2	16,4	18,3	66,3	70,2	29,8	33,1	0	0	70,2
2006	1,4	19,1	7,4	20,9	38,9	33,2	37,2	39,4	42,3	64,9	5,2	0	64,9
2007	0	18,5	1,1	36,1	76	68,3	14,3	43	49,2	45,8	2,1	5,4	76
2008	0	0	10,6	26,4	37,8	101,4	53	48	48,9	18,9	0	30,2	101,4
2009	0	0	24,4	8,1	27,8	41,3	44,2	104,4	42,2	66,5	17,8	7	104,4
2010	0	0	3,4	40,5	57	79	52	85,4	66,4	19,4	7,4	0	85,4
2011	0	24,1	2,2	43,1	38,6	33	31,4	38,1	65,6	42,7	0	0	65,6
2012	0,8	10,4	16,3	24,5	72,8	54,3	70,2	61,2	42,3	31	3,7	0	72,8

Annexe 3 : Levé topographique de la cuvette

Tableau 25: Levé topographique de la cuvette

Surface et volume mesuré sur la cuvette			
		Volumes	
Altitudes	Surfaces	Partiels	Cumulés
338,07	0	0	0
339	0,08	0,29	0,29
340	0,23	1,55	1,84
340,2	0,28	0,51	2,35
340,4	0,36	0,64	2,99
340,6	0,6	0,96	3,95
340,8	0,77	1,37	5,32
341	2,26	3,03	8,35
341,2	2,7	4,96	13,31
341,4	3,15	5,85	19,16
341,6	3,65	6,8	25,96
341,8	4,16	7,81	33,77
342	7,2	11,36	45,13
342,2	8,27	15,47	60,6
342,3	10,2	18,55	79,15
342,6	11,28	21,56	100,71
342,8	11,93	23,21	123,92
343	13,06	24,99	148,91
343,2	14,99	28,05	176,96
343,4	16,03	31,02	207,98
343,6	18,62	34,65	242,63
343,8	19,6	38,22	280,85
344	21,02	40,62	321,47
344,2	22,04	43,06	364,53
344,4	24,02	460,6	410,59
344,6	25,03	49,05	459,64
344,8	26,13	51,16	510,8
345	27,21	53,34	564,14
345,2	26,33	53,54	617,68
345,4	30,1	56,43	674,11
345,6	31,6	61,7	735,81
345,8	32,8	64,4	800,21
346	34,06	66,85	867,06
346,2	35,23	69,29	936,35
346,4	36,65	71,88	1008,23
346,6	38,17	74,82	1083,05
346,8	37,76	77,93	1160,98
347	41	80,76	1241,74

347,2	42,33	83,33	1325,07
347,4	43,78	86,11	1411,18
347,6	45,31	89,09	1500,27
347,8	47,08	92,39	1592,66
348	49	96,08	1688,74
348,2	51	100	1788,74
348,4	53,25	104,25	1892,99
348,6	56	109,25	2002,24
348,8	59,56	115,56	2117,8
349	63,02	122,58	2240,38
349,2	66,75	129,77	2370,15
349,4	71,76	138,51	2508,66
349,6	75,38	147,14	2655,8
349,8	78,27	153,65	2809,45
350	81,11	159,38	2968,83
350,2	83,9	165,01	3133,84
350,4	86,7	170,6	3304,44

Annexe 4 : Résultats de l'analyse fréquentielle des pluies

Tableau 26: Ajustement des pluies journalières en période de crue par la loi de Gumbel

<i>T</i>	<i>F(x)</i>	<i>up</i>	<i>xp</i>		<i>inf</i>	<i>sup</i>
10 ans	0,1	-0,83	47,14	sèche	42,03	52,25
	0,9	2,25	122,19	humide	107,02	137,36
20 ans	0,05	-1,10	40,73	sèche	35,26	46,20
	0,95	2,97	139,70	humide	121,16	158,24
50 ans	0,02	-1,36	34,24	sèche	28,14	40,34
	0,98	3,90	162,37	humide	139,40	185,35
100 ans	0,01	-1,53	30,27	sèche	23,69	36,86
	0,99	4,60	179,36	humide	153,03	205,69
1000 ans	0,001	-1,93	20,41	sèche	12,40	28,42
	0,999	6,91	235,50	humide	197,99	273,00

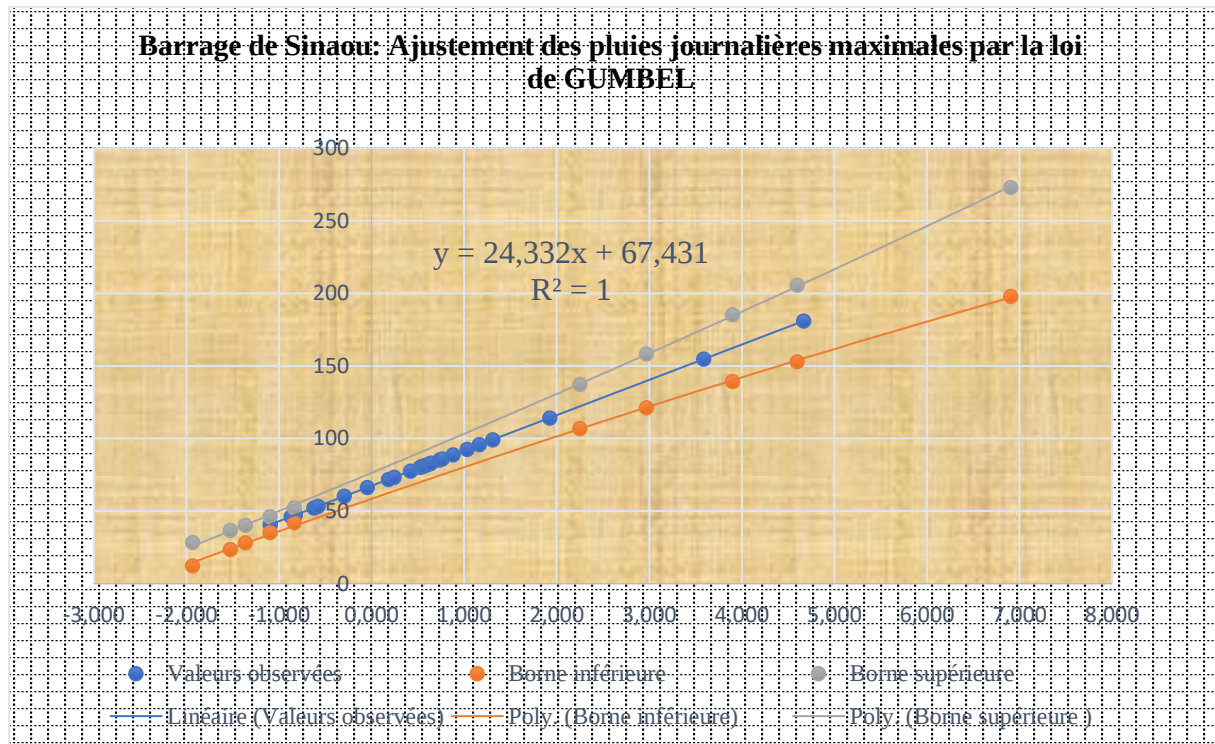


Figure 13: Ajustement des pluies journalières maximales par la loi de Gumbel

Tableau 27: Ajustement des pluies annuelles par la loi de Gauss

T	F(x)	up	xp		inf	sup
10 ans	0,1	-1,28	874,73	sèche	779,78	969,67
	0,9	1,28	1386,64	humide	1291,69	1481,58
20 ans	0,05	-1,64	802,74	sèche	694,95	910,53
	0,95	1,64	1458,62	humide	1350,83	1566,42
50 ans	0,02	-2,05	720,75	sèche	596,79	844,72
	0,98	2,05	1540,61	humide	1416,65	1664,57
100 ans	0,01	-2,33	664,76	sèche	529,10	800,43
	0,99	2,33	1596,60	humide	1460,93	1732,27

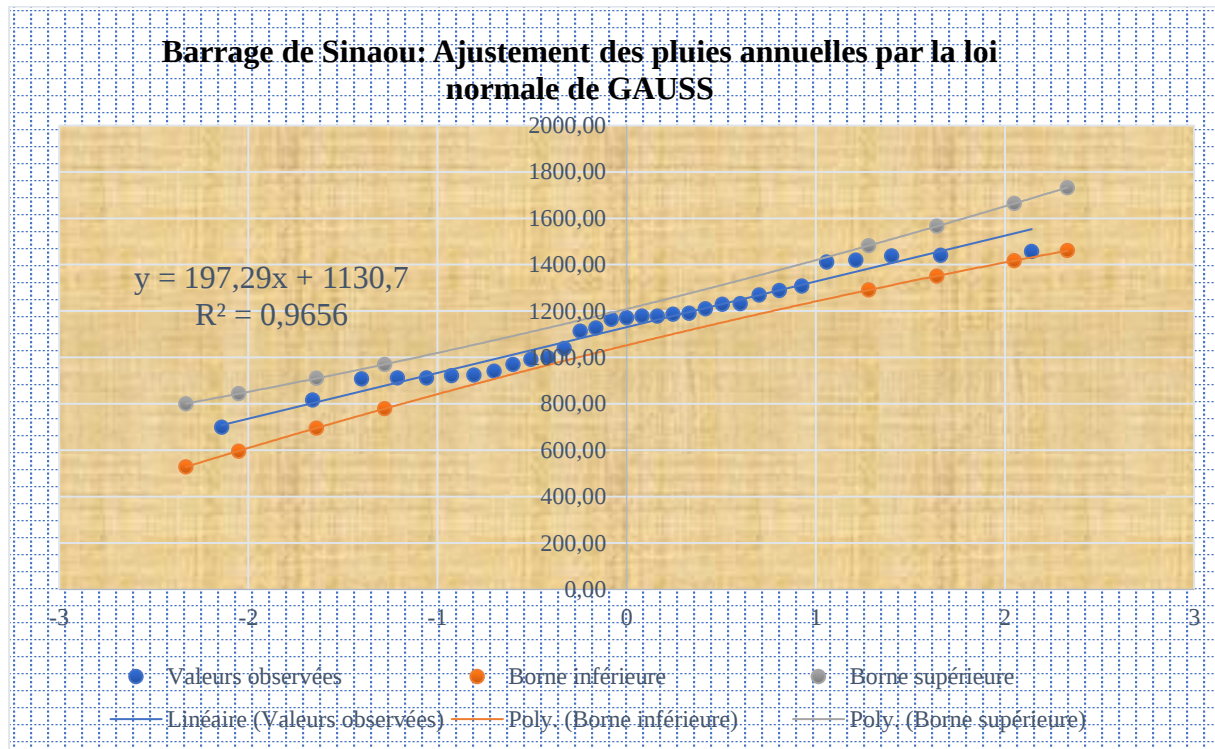


Figure 14: Ajustement des pluies annuelles par la loi de GAUSS

Annexe 5 : Calculs du débit décennal par la méthode ORSTOM et celle du CIEH

Tableau 28: Calculs du débit décennal

DETERMINATION DE Q10			
CALCUL DE KR10			
	a'	b'	c'
FAO54 : valeur de a b c	181,3659825	20	17,19561877
Kr70 = (a'/(S+b'))+ c'	Kr70	19,58201328	
CALCUL DE KR100 AVEC IG = 2,6M/KM			
	a'	b'	c'
FAO54 : valeur de a b c	225,092786	30	22,93170088
Kr100 = (a'/(S+b'))+ c'	Kr100	25,54905885	
CALCUL DE KR10 PAR INTERPOLATION LINEAIRE			
	70	Kr70	19,58201328
	100	Kr100	25,54905885
	137,36	Kr10	35,43096075
(kr100-Kr70)/(100-			11,95811805

70)x(P10-100)+Kr100			
K10 avec Fao 54	Kr10=2300xPan^-0,67		20,07615385
	CALCUL DE TEMPS DE BASE AVEC IG = 5,6M/KM		
	lgret	a	b
FAO54:Tb=250*S^0,35+300	5,484559595	223,3742168	206,4737006
Tb10 = a x S^(0,36) + b	Tb10	1157,912225	
Tm10=(1/3)Tb	Tm10	385,9707418	
	CALCUL DE COEFFICIENT		
Coefficient majorateur	m		1,03
Coefficient d'abattement	A=1-[(161-0,042xPmoy)/1000]xlog(S)		0,805446252
Coefficient de pointe α10	α10		2,6
Précipitation moyenne	Pm10= AxP10		110,6360972
Volume retardé décennale	vr10 = Pm10 x Kr10 x S		2195168,202
	METHODE ORSTOM		
Débit moyen décennale	Qm10 = 16,7 x (Pm10 x Kr10 x S) / Tb10		1899590,047
Débit moyen retardé décennale	Qmr10 = Vr10 / (Tb10 x 60)		31,59664084
Débit de pointe	Qr10		82,15126618
crue décennale maximale	Qmax10	Qr10+Qmr10	113,747907
	C	(1+((P100-P10)/P10)*(Tb10/24)^0,12)/Kr10	3,235547682
crue centennale maximale	Qmax100(m^3/s)	CxQmax10	368,0367769
	METHODE CIEH		
crue décennale maximale	Qmax10(E39)	kr10^0,923	26,92033397
	Qmax10(E40)	0,254XS^0,462Xlgcor^0,101XKr10^0,976	63,0010288
	Qmax10(E26)	146xS^0,479xkr10^0,457xPm10^(-0,969)	53,61260061
	Qmax10(E44)	146xS^0,479xkr10^0,457xPm10^(-0,969)	53,61260061
	Qmoy10		49,286641
	C	(1+((P100-P10)/P10)x((Tb10/24)^0,12)/Kr10	3,235547682
crue centennale maximale	Qmax100	CxQmax10	159,469277
Qprojet (m^3/s)	Calculée		113,747907
Qprojet Retenu	Qprojet retenue(m^3/s)		159,469277

Annexe 6 : Dimensionnement de la digue

Tableau 29: Calcul de la revanche

CALCUL DE REVANCHE R			
La hauteur de la digue $E = H+h +R$			
METHODE DE MALLET ET PACQUANT			
Hauteur de la digue E	E	9.8	m
Pente de la digue en amont	$Pente = V / 2,5H$	0,5	
Pente de la digue en aval	$Pente = V / 2,5H$	0,5	
Le fetch F	$F = H / pente$	8	km
Hauteur des vagues	$h = (1/2) + (1/3)*F^{(0,5)}$	1,442809042	m
Vitesse de propagation vagues	$V = (3/2) + (2/3)*h$	2,461872694	m
Coefficient de sécurité A	A entre 1 et 2	0,75	
La revanche	$R = A * (h+(V^2/(2g)))$	1,313789394	m
METHODE DE STEVENSON ET MILITOR			
Le fetch F	$F = H / pente$	8	km
Vitesse du vent	V	10	km/h
Pesanteur	g	9,81	m/s ²
Hauteur de vague h avec Stevenson	Dépend de F	1,106219803	m
Hauteur de vague h avec Militor	Dépend de F	0,591062021	m
METHODE DE GAILLARD POUR CALCUL DE REVANCHE			
Vitesse de vagues avec Stevenson	$V = 1,5 + (2/3) * h$	2,237479869	m/s
Vitesse de vagues avec Militor		1,894041348	m/s
Revanche avec Stevenson	$R = (0,75*(h + (v^2/(2g))))$	1,021037795	m
Revanche avec Militor		0,580429262	m

Tableau 30: Calcul de la hauteur de la digue

CALCUL DE LA HAUTEUR DE LA DIGUE $E = H+h +R$			
Cote du lit mineur	Zmin	340	
Côte au PEN	ZPEN	348,4	m
Z crête	Zc	349,8	m
Charge maximale déversoir	h	0,8	m
Revanche	R	0.6	m
La hauteur de la digue	Zc-Zmin	9.8	m
la hauteur retenue	9.8		
Fetch=8,3km sur mesure	2878,19799		
Longueur de la digue	614		
Qrupture	9525,5m ³		

Tableau 31: Calcul de la largeur en crête et de la largeur à la base

CALCUL DE LA LARGEUR DE CRETE lc			
Largeur de crête avec KNAPPEN	$lc = 1,65 * E^{(0,5)}$	5,217758139	m
Largeur de crête avec PREECE	$lc = 1,1 * (E^{(0,5)}) + 1$	4,478505426	m
Autre formule	$lc = 3,6 * (E^{(0,5)}) - 3$	8,384199577	m
La largeur de crête retenu est de		6,026821047	m
CALCUL DE LA LARGEUR A LA BASE			
Fruit de berge amont	$m1 = 1 / \text{pente amont}$	2	
Fruit de berge Aval	$m2 = 1 / \text{pente aval}$	2	
Largeur à la base	$lf = lc + (m1 + m2) * E$	45,58	46

Tableau 32: Vérification de la règle de LANE

Profils	Lv	LH	H	C	Lv+ (1/3) LH	C*H	Vérification
2 bis10	0,5	5,2	0,50	3	2,23	1,50	Ok
3.1	0,5	6,12	0,27	3	2,54	0,81	Ok
3.2	0,5	6,76	0,71	3	2,75	2,13	Ok
4.1	0,5	8,36	0,31	3	3,29	0,93	Ok
5	0,5	13,08	0,87	3	4,86	2,61	Ok
6	0,5	15,56	1,49	3	5,69	4,47	Ok
6.1	3	19,64	2,51	3	9,55	7,53	Ok
7.1	3	20,52	2,73	3	9,84	8,19	Ok
8.1	3	21,2	2,90	3	10,07	8,70	Ok
9.1	3	22,32	3,18	3	10,44	9,54	Ok
10.1	3	23,84	3,56	3	10,95	10,68	Ok
11	3	25,84	4,06	3	11,61	12,18	Non vérifié
11.1	3	25,84	4,06	3	11,61	12,18	Non vérifié
12.1	3	22,92	3,33	3	10,64	9,99	Ok
12.2	3	22,36	3,19	3	10,45	9,57	Ok
12.3	3	21,04	2,86	3	10,01	8,58	Ok
13.1	3	19,52	2,48	3	9,51	7,44	Ok
13.2	2,5	17,68	2,02	3	8,39	6,06	Ok
13.3	1,5	14,04	1,11	3	6,18	3,33	Ok
13.4	1,5	11,2	0,40	3	5,23	1,20	Ok
13 bis	1,5	10,44	0,21	3	4,98	0,63	Ok
14	0,5	9,2	0,10	3	3,57	0,30	Ok
14.1	0,5	6,04	0,89	3	2,51	2,67	Non vérifié

✚ Calcule de l'infiltration interne

- Estimation du débit de fuite

$$q = K_r * y_0$$

Avec l'équation de la parabole de KOZENY nous avons $y^2 = 2 * y_0 + y_0^2$

$$\text{Avec } y_0 = \sqrt{H_d^2 + d^2} - d$$

- Longueur du drain l_d

$$l_d = \frac{l_f}{3}; l_d = \frac{46}{3} = 15.33m$$

$$x = l_f - l_d; x = 46 - 15.33 = 30.67m$$

$$d = x - 0.7b$$

$$\text{AN : } d = 30.67 - 0.7 * 12.9 = 21.64 \text{ m}$$

$$\text{D'où } y_0 = \sqrt{H_d^2 + d^2} - d$$

$$y_0 = \sqrt{10^2 + 21.64^2} - 21.64 = 2.19m$$

Le débit q

$$q = k_r * y_0$$

$$Q = 10^{-9} * 2.19 = 22^{-10} \text{ m}^3/\text{s}$$

- Calcul de l'épaisseur du drain

$$e = 2 \sqrt{\frac{q * l_d}{k_d}}; \text{AN: } e = 2 \sqrt{\left(\frac{22^{-10} * 15.33}{10^{-5}}\right)} = 1,16^{-1} = 11.6 \text{ cm nous retenons } e = 50 \text{ cm}$$

Epaisseur de la protection $e_{\text{prot}} = 1,50 \text{ D50}$

D50 est fonction de la hauteur des vagues $= 1.4 \text{ m}$

Tableau 33: D50 est fonction de la hauteur des vagues

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

Source : cours de Monsieur LO 2017-2018

$$e = 1,5 * 0,4 = 0,6 \text{ m}$$

Nous convenons de retenir une épaisseur de protection de 0,5m pour la réalisation.

Annexe 7 : Dimensionnement du déversoir, du bassin de dissipation et du chenal d'évacuation

✚ Calcul du déversoir

✚ Longueur du seuil déversant

Elle est calculée par la méthode du « x0 », une solution itérative à l'équation du laminage qui permet de déterminer itérativement, la longueur du seuil déversant une fois que l'on s'est fixé une lame d'eau déversant.

La formule de base pour les calculs est la suivante :

$$Q = mL\sqrt{2gh^2}^{\frac{3}{2}}$$

Ce qui permet d'avoir une valeur approchée de la longueur du seuil déversant :

$$L_{approx} = \frac{Q_{crue}}{m\sqrt{2gh^2}^{\frac{3}{2}}} = \frac{159.46}{0,4 * \sqrt{2 * 9,81} * 1^{\frac{3}{2}}} = 118.2m$$

Le coefficient « x0 » se calcule par la formule :

$$x_0 = \frac{m^2 g L_1^2 Q_{cmax} t_m^3}{S^3} = \frac{0,4^2 * 9,81 * 125.8 * 159.46 * 23158,245^3}{50000}$$

Le logarithme décimal du x0 permet d'évaluer un coefficient β de laminage grâce à l'abaque ci-dessous (gauche). Il faut cependant vérifier que la valeur obtenue à chaque étape est au moins plus grande u'une valeur minimale calée par la figure ci-après (droite).

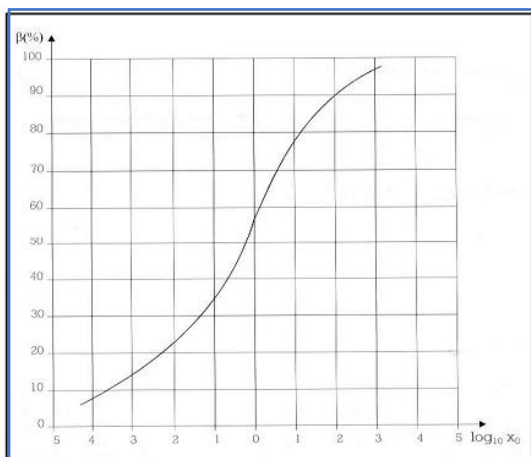


Figure 15: Abaque de la méthode du x0

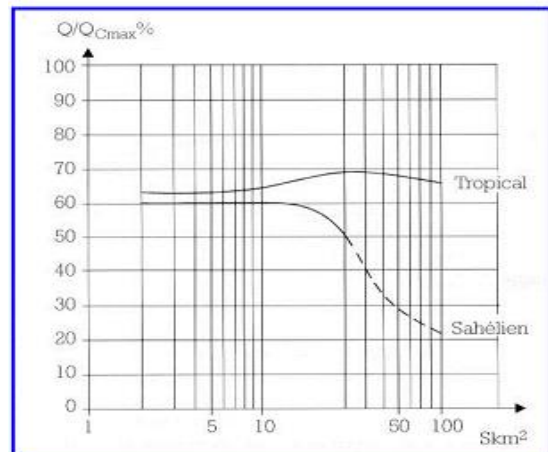


Figure 16 : Abaque de validation du x0

Le débit laminé est alors : $Q_e = \beta Q_{cmax}$.

Tableau 34: synthèse des résultats

L(m)	S(m ²)	h(m)	m	Tm(s)	Qcmax	g(m/s ²)	X0	logX010	β	Qemax(m ³ /s)
125,8	500 000	0,8	0,4	23158,2	159,5	9,81	393,493906	2,59	0,96	153,1
120,8	500 000	0,8	0,4	23158,2	159,5	9,81	362,643984	2,56	0,95	151,5
119,5	500 000	0,8	0,4	23158,2	159,5	9,81	355,12825	2,55	0,94	149,9
118,2	500 000	0,8	0,4	23158,2	159,5	9,81	347,691216	2,54	0,93	148,3
117,0	500 000	0,8	0,4	23158,2	159,5	9,81	340,332879	2,53	0,93	148,3
117,0	500 000	0,8	0,4	23158,2	159,5	9,81	340,332879	2,53	0,93	148,3

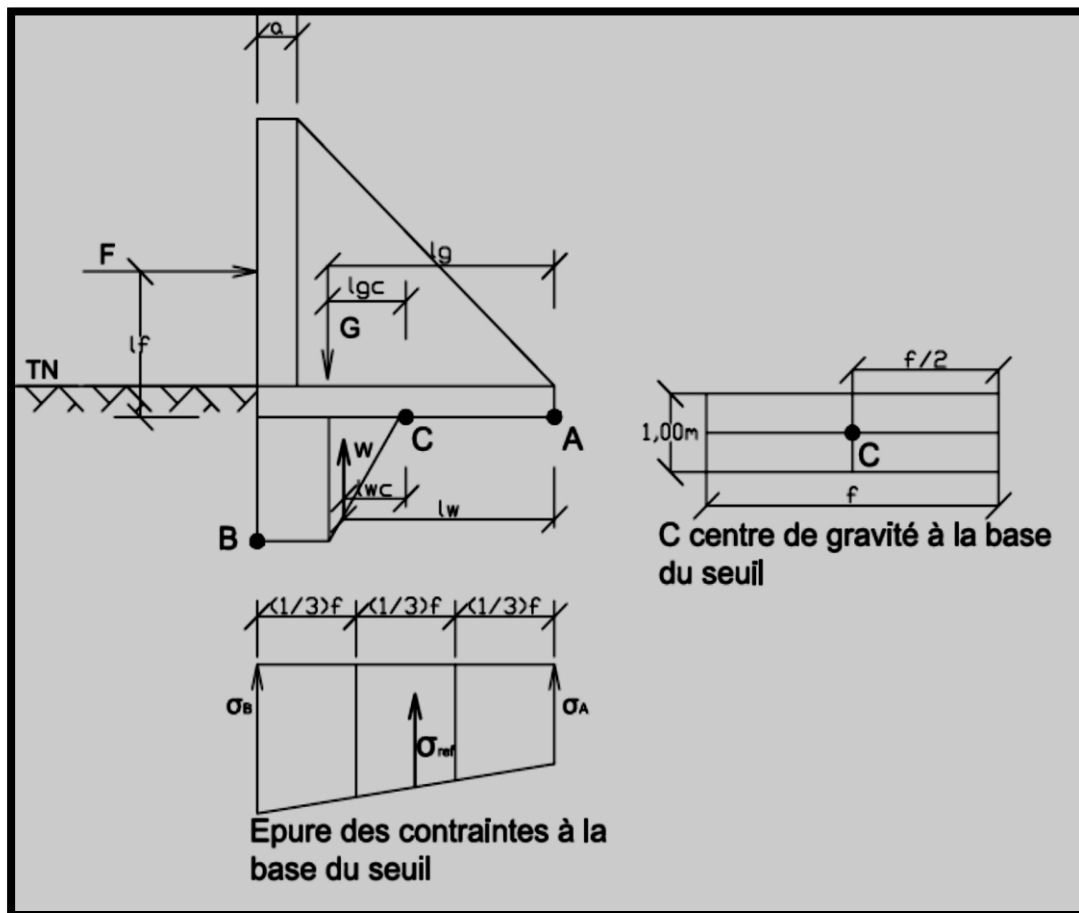


Figure 16: Schéma des actions mécaniques sur le déversoir

Tableau 35: Calcul de la stabilité du déversoir

Calcul de la stabilité du deversoir										
Designations					Force [kN/ml]		Bras de levier[m]	Moments [KN.m]		
					Verticale	Horizontale		stabilisants[+]	renversants[-]	
Poids propre										
W1 =	9,0	* 1,00	* 24,0		216,000		8,500	1836,000		
W2 =	8	* 8,00	/ 2,0	* 24,0	768,000		5,333	4096,000		
W3 =	8,0	* 1,00	* 24,0		192,000		4,000	768,000		
W4	2,0	* 3,00	/2		72,000		6,000	432,000		
W5	2,0	* 2,00	* 24,0	24	96,000		4,000	384,000		
Poussées externes										
Pe1 =	8,00	* 9,00				72,000	4,500		324,000	
Pe2 =	82,00	* 9,00	/ 2,0			369,000	3,000		1107,000	
Pea =	8,00	* 0,80	/ 2,0			3,200	0,267	0,853		
Sous pressions										
Pi1 =	8,00	* 9,00			72,000		4,500		324,000	
Pi2 =	82,00	* 9,00	/ 2,0		369,000		6,000		2214,000	
Pi3 =	0,00	* 0,00			0,000		0,000		0,000	
Pi4 =	0,00	* 0,00	/ 2,0		0,000		0,000		0,000	
Poussées des terres Amont										
Pt =	5,94	* 1,00 / 2,0				2,970	0,333		0,99	
Somme des forces verticales (W-U)					903,000					
Somme des forces horizontales : U						440,770				
Somme des moments stabilisants : Ms								7516,853		
Somme des moments renversants : Mr								3969,990		
Stabilité au glissement										
Coefficient de sécurité au glissement					$F_G = \frac{\sum(W - U) * \tan \varphi}{\sum P}$		1,33		Fg > 1,2 : Condition vérifiée Ok!	
Coefficient de sécurité au glissement en tenant compte de la cohésion des fondations				$F_G = \frac{C * S + \sum(W - U) * \tan \varphi}{\sum P}$		1,74		Fg > 1,5 : Condition vérifiée Ok!		
Stabilité au renversement										
Coefficient de renversement Fr					$Fr = \left \frac{M_S}{M_R} \right $		1,89 m		Fr > 1,5 : Condition vérifiée Ok!	
Stabilité interne										
X (Gouv) =		2,318452381						Y (Gouv) =	4,366071429	
Excentricité e =					0,45 m		Règle du tier centrale $-\frac{b}{6} < e < \frac{b}{6}$			1,33 m
		b / 6 =			1,50 m		La règle du tiers central est vérifiée			
La non rupture et la non-fissuration										
Contrainte en A σ min					70,26 kPa		Contrainte en B σ max		130,41 kPa	
La non-fissuration est vérifiée						0,3fc28 = 6		Non rupture vérifiée		
						MPa				

Ø =	30	°	C =	0	Kpa
ΣFh =	440,77	KN	ΣFv =	903,00	KN
b =	9,00	m	j = Arctan(ΣFh/ ΣFv) =	26,02	°
Nq =	18,4		Nγ =	22,4	
Nc =	30,14		D =	3,00	
γ =	20,00	KN/m³			
qadm = 0,5 γ.b.Nγ+C.Nc+γ.D.Nq				3 120,00	Kpa
δ_ref				63,653971	Kpa

Tableau 36: Dimensionnement du bassin de dissipation et du chenal d'évacuation

Désignation	Unité	Valeur
Côte la plus basse du terrain naturel : Z_{TN}	m	340,00
Côte du plan d'eau normal : Z_{PEN}	m	348,40
Longueur déversant : L	m	160
Coefficient de débit : m	m	0,4
Intensité de la pesanteur : g	m/s^2	10
Lame d'eau déversant maximale: h	m	0,8
Débit maxi évacué : Q_{maxe}	m^3/s	148
Débit spécifique : $Q_s = Q_{maxe} / L$	$m^3/s/ml$	1,23
Pelle : $H_0 = Z_{PEN} - Z_{TN}$	m	8.4
1. Calcul de la profondeur nominale par la méthode de la débitance : Y_n		
Coefficient de Manning Strickler : K_s		30
Largeur au plafond : b	m	160
Fruit des berges : m		1,8
Pente moyenne du chenal		0,01
Profondeur nominale : Y_n	m	0.8
2. Calcul de la profondeur de la fosse de dissipation : D		
Nous utilisons l'abaque proposé par Grésillon et LAHAYE pour déterminer l'enfoncement de la fosse de dissipation (D) et de la hauteur de la lame d'eau au-dessus du seuil (h_0/H_0)		
Y_n/H_0	---	0,096
h/H_0	---	0,095
La valeur de $D/H_0 = a$	---	0,12
Profondeur : $D = a * H_0$	m	1.008
Nous retenons D	m	1,00
3. Les caractéristiques d'entrée du ressaut		
Vitesse au-dessus du seuil : $V_0 = Q_s/h$	m/s	1,54
Hauteur de chute : $H = D + H_0$	m	9.4
$Y_1 = Q_s / (2g(0,9*(H+h+V_0^2/2g) - Y_1))^{0,5}$	m	
Par itération on trouve Y_1	m	0,15
Vitesse à l'entrée du bassin : $V_1 = Q_s/Y_1$	m/s	8.23
Le nombre de Froude : $Fr = V_1 / (g * Y_1)^{0,5}$		7

4. Les caractéristiques de sortie du ressaut		
Profondeur d'eau conjuguée à la fin du ressaut (sortie du bassin): Y₂ = (Y₁/2)*((1+8Fr²)^{0,5}-1)	m	1,36
Vitesse à la sortie du bassin : V₂ = Qs/Y₂	m/s	0,9
La condition pour que le ressaut ne quitte pas le bassin de dissipation est la suivante: Y₂ < Y_n+D		
Dans notre cas: Y_n + D	m	1,8
La condition est donc vérifiée		
5. Choix du type de bassin de dissipation et des caractéristiques		
Il y a différents types de bassins suivant les valeurs du nombre de Froude Fr et de la vitesse V₁		
Fr = 7	Fr > 4,5	
V ₁ (m/s) = 8.23	V ₁ ≤ 15	
Fr > 4,5 ; alors le ressaut se produit nettement. Des blocs de chutes et des déflecteurs (blocs de chicanes) sont nécessaires pour contenir le ressaut. V ₁ < 15 ; nous prenons un bassin USBR de type II.		
6. Longueur de bétonnage du canal		
Longueur = 2,6*Y ₂	m	3.55 ; 4,00
7. Blocs de chute		
Distance bajoyer-blocs de chute	cm	10
Hauteur des blocs de chute h ₁	cm	15
Intervalle entre blocs de chute y ₁	cm	15
Base des blocs de chute b ₁ = y ₁	cm	15
8. Blocs de chicanes		
Hauteur des blocs de chicanes h ₂	cm	40
Distance blocs de chute-blocs de chicane (0,8*Y ₂)	m	1,1
Base des blocs de chicane	cm	40
Intervalle entre les blocs de chicane	cm	30
9. Seuil terminal		
Epaisseur au sommet (crête)		30
Pente du talus aval	---	1V/2H

Hauteur entre le sommet du seuil et le chenal d'évacuation h_4	cm	30
Epaisseur à la base	m	2,20
10. Protection du canal à l'aval		
Vitesse de début d'entraînement	m/s	0,72
Diamètre minimum des enrochements nécessaires (sur l'abaque) : D'enrochement	m	0,2
Epaisseur de la couche d'enrochement : $E_{\text{enrochement}} \geq 3 \cdot D_{\text{enrochement}}$ (Cf., cours de barrage de M.GUEYE, page 140(année 2006-2007))	m	0,6
Longueur de protection : $L_{\text{protection}} \geq 2 \cdot L$; (Cf., cours de barrage de M.GUEYE, page 140(année 2006-2007)).	m	10

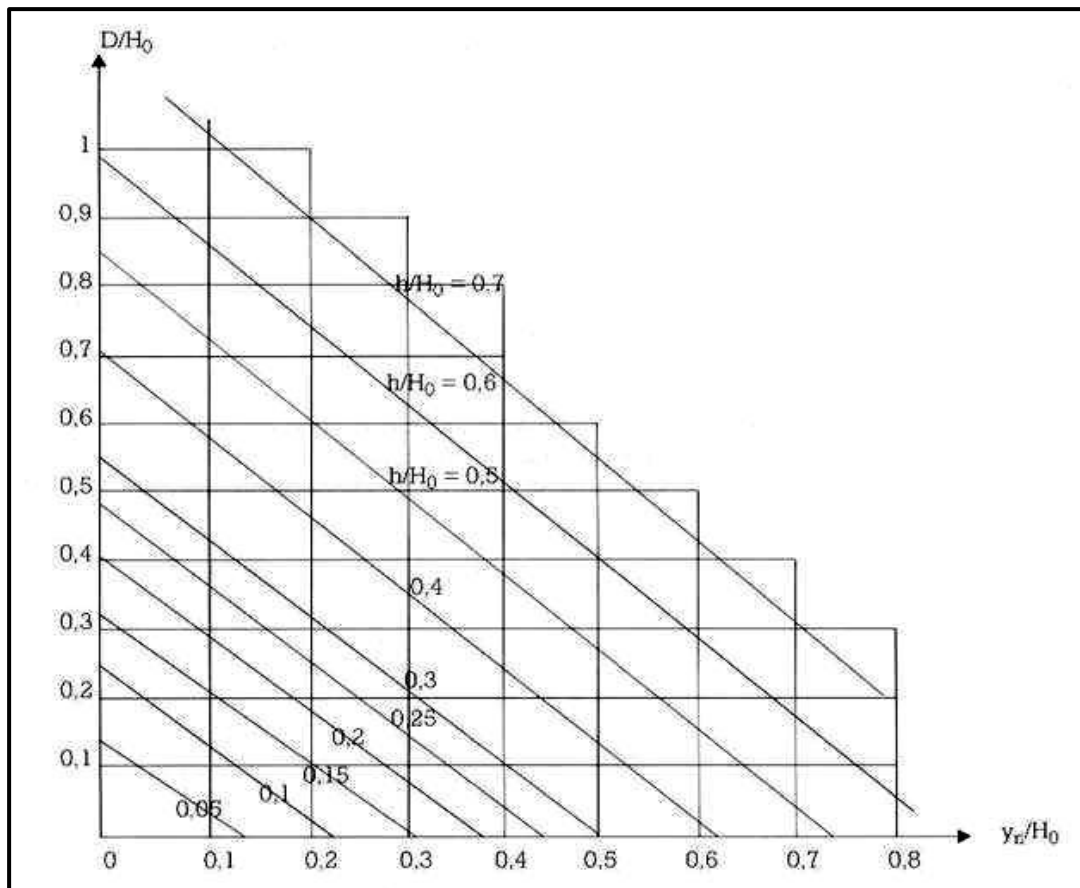


Figure 17: Détermination de l'enfoncement du bassin de dissipation

Annexe 8 : Avant métré

Tableau 37: M tr  de la digue retenue : Altitude digue 350,2 ; PHE=349,2

N� profil	Altitude TN	Hauteur digue	Distance partielle	Profondeur ancrage	Volume ancrage	Largeur filtre	Volume filtre	Remblai compacté	Protection talus	Protection talus aval	Décapage	Butée de pied	Drain de pied aval
2bis	349,90	0,00	0,00	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.1	348,49	1,41	50,16	0,50	91,96	-	-	359,00	143,55	12,22	500,47	18,81	50,16
3.2	347,96	1,94	7,25	0,50	13,29	-	-	119,96	42,99	3,66	111,02	2,72	7,25
4.1	347,74	2,16	52,46	0,50	96,18	-	-	1 122,00	373,26	31,78	911,49	19,67	52,46
5	347,22	2,68	28,24	0,50	51,77	3,84	-	761,46	233,97	19,92	548,14	10,59	28,24
6	346,16	3,74	50,00	0,50	91,67	5,25	113,67	2 043,40	539,17	45,91	1 187,75	18,75	50,00
6.1	343,91	5,99	41,03	1,26	139,16	8,25	138,54	3 248,13	657,17	55,96	1 348,14	15,39	41,03
7.1	344,54	5,36	12,73	0,89	53,14	7,41	49,86	1 255,24	236,50	20,14	474,99	4,77	12,73
8.1	343,64	6,26	77,15	1,42	348,78	8,61	309,11	7 922,93	1 466,26	124,85	2 935,94	28,93	77,15
9.1	344,68	5,22	27,24	0,81	118,62	7,23	107,87	2 746,01	511,67	43,57	1 026,13	10,22	27,24
9.2	343,43	6,47	23,68	1,54	109,63	8,89	95,43	2 464,86	452,67	38,54	905,70	8,88	23,68
10.1	344,81	5,09	29,89	0,74	133,82	7,05	119,16	3 059,93	565,23	48,13	1 132,53	11,21	29,89
11	344,55	5,35	41,32	0,89	126,81	7,40	149,30	3 548,83	708,21	60,30	1 438,35	15,50	41,32
11.1	342,59	7,31	24,31	2,03	144,24	10,01	105,83	2 913,62	501,99	42,74	994,64	9,12	24,31
12.1	342,46	7,44	33,34	2,11	289,25	10,19	168,37	5 089,17	798,63	68,00	1 555,73	12,50	33,34
12.2	341,16	8,74	6,64	2,87	71,82	11,92	36,70	1 193,49	174,07	14,82	335,95	2,49	6,64
12.3	343,09	6,81	12,21	1,74	121,34	9,35	64,92	2 062,74	307,93	26,22	596,61	4,58	12,21
13.1	342,83	7,07	22,20	1,89	165,62	9,69	105,67	3 056,78	501,25	42,68	982,79	8,33	22,20
13.2	342,27	7,63	7,35	2,22	63,31	10,44	37,00	1 116,55	175,48	14,94	341,96	2,76	7,35
13.3	344,19	5,71	13,41	1,10	91,58	7,88	61,42	1 751,17	291,33	24,81	573,75	5,03	13,41
13.4	341,75	8,15	12,60	2,52	95,76	11,13	59,89	1 767,79	284,09	24,19	557,11	4,73	12,60
13bis	341,13	8,77	14,77	2,88	175,89	11,96	85,27	2 857,75	404,48	34,44	777,35	5,54	14,77
14	340,75												
14.1	341,31												
17bis	341,24												
17.1	341,35	8,55	19,49	2,76	118,66	11,67	56,85	1 929,07	275,81	23,48	577,15	7,31	19,49
17.2	342,23	7,67	4,78	2,24	51,87	10,49	26,48	860,64	125,61	10,70	242,37	1,79	4,78
18	342,88	7,02	15,92	1,86	136,94	9,63	80,08	2 416,50	379,84	32,34	740,24	5,97	15,92
18.1	345,24	4,66	31,15	0,50	148,15	6,48	125,43	3 300,28	594,97	50,66	1 190,55	11,68	31,15
18.2	346,67	3,23	12,15	0,50	22,28	4,57	33,57	681,73	159,26	13,56	337,74	4,56	12,15
19.1	348,16	1,74	12,70	0,50	23,28	-	-	367,71	107,83	9,18	251,05	4,76	12,70
20.1	349,70	0,20	49,87	0,50	91,43	-	-	487,41	184,51	15,71	570,26	18,70	49,87
21.1	348,70	1,20	39,79	0,50	72,95	-	-	263,41	113,24	9,64	395,91	14,92	39,79
21.2	347,57	2,33	2,93	0,50	5,37	-	-	53,28	18,21	1,55	46,32	1,10	2,93
22.1	341,27	8,63	54,12	2,80	385,88	11,77	-	6 103,10	972,09	82,77	1 961,31	20,30	54,12
23	342,95	6,95	23,31	1,82	232,08	9,53	124,16	3 940,36	588,96	50,15	1 140,91	8,74	23,31
24	346,54	3,36	50,00	0,50	232,98	4,75	178,50	4 528,55	846,70	72,09	1 722,62	18,75	50,00
24bis	349,90	0,00	46,67	0,50	85,56	-	-	1 032,04	277,46	23,62	715,92	17,50	46,67
TOTAL			950,86		4 201,09		302,66	76 425,52	9 369,91	797,82	19 236,54	356,57	950,86

Annexe 9 : Notice d'Impact Environnemental et Social**Tableau 38: Synthèse des impacts en phase de construction**

Eléments du milieu	Composante	Impacts	Paramètres de caractérisation							Evaluation
			Nature	Interaction	Ampleur	Portée	Durée	Occurrence	Réversibilité	
Milieu Physique	Air	Pollution de l'air	Négatif	Directe	Moyenne	Locale	Temporaire	Certaine	Réversible	Moyenne
	Climat sonore	Modification du climat sonore	Négatif	Directe	Moyenne	Locale	Temporaire	Certaine	Réversible	Moyenne
	Sols	Pollution des sols	Négatif	Directe	Moyenne	Locale	Moyen terme	Certaine	Réversible	Moyenne
	Eau de surface	Risque de pollution des eaux de surface	Négatif	Directe	Mineure	Locale	Temporaire	Probable	Réversible	Faible
	Eau souterraine	Risque de pollution des eaux souterraines	Négatif	Indirecte	Mineure	Locale	Moyen terme	Probable	Réversible	Faible
Milieu biologique	Flore	Dégradation Végétation brousse	Négatif	Directe	importante	Locale	Permanente	Certaine	Irréversible	importante
		Dégradation Végétation sites emprunts	Négatif	Directe	Mineure	Locale	Long terme	Certaine	Réversible	Faible
	Faune	Fuite / dégradation des gîtes	Négatif	Directe	Mineure	Locale	Durable	Certaine	Irréversible	Mineure
		Recrudescence braconnage	Négatif	Indirecte	Mineure	Locale	Temporaire	Certaine	Réversible	Mineure
Milieu humain	Santé	Risques affections respiratoires	Négatif	Directe	Moyenne	Locale	Temporaire	Certaine	Réversible	Moyenne
		Risques de propagation IST / SIDA	Négatif	Indirecte	Mineure	Locale	Long terme	Probable	Réversible	Mineure
	Emploi	Création d'emploi	Positif	Directe	Moyenne	Locale	Temporaire	Certaine	Réversible	Moyenne
	Sécurité routière	Risques d'accidents	Négatif	Directe	Mineure	Locale	Temporaire	Certaine	Réversible	Mineure
	Vie communautaire	Risques de perturbation us et coutumes	Négatif	Directe	Mineure	Locale	Temporaire	Probable	Réversible	Mineure
	Habitat	Déplacement de ménages	Négatif	Directe	Moyen	Locale	Permanente	Certaine	Irréversible	Moyenne

Tableau 39: Synthèse des impacts en phase d'entretien et d'exploitation

Eléments du milieu	Composante	Impacts	Paramètres de caractérisation							Evaluation
			Nature	Interaction	Ampleur	Portée	Durée	Occurrence	Réversibilité	
Milieu Physique	Sols	Pollution des sols	Nég	Indirecte	Mineure	Locale	Durable	Certaine	Irréversible	Mineure
	Eau de surface	Risque de pollution des eaux de surface	Nég	Indirecte	Mineure	Locale	Moyen terme	Probable	Irréversible	Mineure
	Eau souterraine	Risque de pollution des eaux souterraines	Nég	Indirecte	Mineure	Locale	Moyen terme	Probable	Réversible	Mineure
Milieu biologique	Flore	Dégradation Végétation sites emprunts	Nég	Directe	Mineure	Locale	Moyen terme	Certaine	Irréversible	Mineure
	Faune	Fuite / dégradation des gîtes	Nég	Directe	Mineure	Locale	Durable	Certaine	Irréversible	Mineure
Milieu humain	Emploi	Création d'emploi	Posit	Indirecte	Moyenne	Locale	Permanent	Certaine	Réversible	Moyenne
	Développement local	Dynamisation du développement local	Posit	Indirecte	Majeure	Locale	Permanent	Certaine	Réversible	Majeure
		Augmentation globale des revenus	Posit	Indirecte	Majeure	Locale	Permanent	Certaine	Réversible	Majeure
		Amélioration des conditions de vie	Posit	Indirecte	Majeure	Locale	Permanent	Certaine	Réversible	Majeure

Tableau 40: stratégie de mise en œuvre des actions environnementales retenues

Impacts identifiés	Actions environnementales	Objectifs visés	Indicateurs de suivi	Lieu de mise en œuvre	Acteurs	Chronogramme	
						An 1	An 2
Dégradation de la qualité de l'air	Maintenance des engins, limitation de la vitesse	Minimiser les pollutions de l'air	Respect des clauses du chantier	Sur le chantier et les sites d'agrégats	DG-Eau, Entreprise et Bureau Conseil, Services de l'agriculture	X	
Pollutions des eaux et les risques d'accidents	Maintenance des engins, limitation de la vitesse	Minimiser les pollutions des eaux et limiter les risques d'accidents	Respect des clauses du chantier	Sur le chantier et les sites d'agrégats	DG-Eau, Entreprise et Bureau Conseil, Services de l'agriculture	X	
Risques sanitaires	limitation de la vitesse et sensibilisations	Limiter les risques sanitaires	Respect des clauses du chantier et population touchée	Sinaou	DG-Eau , Entreprise, Bureau Conseil, service de santé de Pehunco, Comité de gestion, Services de l'agriculture	X	

Dégradation physique des sols	Remise en état des lieux après les travaux	Restaurer le capital productif du milieu	Réalisation de la remise en état des lieux	Site du barrage et d'emprunts	DG-Eau , Entreprise, Bureau Conseil, service de l'environnement de l'Atacora, Comité de gestion, Services de l'agriculture	X	
Dégradation de la végétation	Reboisements compensatoires	Restaurer le couvert végétal	Superficie reboisée, nombre de plants mis en terre	Sinaou	DG-Eau , Entreprise, Bureau Conseil, service de l'environnement de l'Atacora, Comité de gestion, Services de l'agriculture	X	X
Risque de l'accélération de la dégradation des berges du barrage	Protection des berges par plantation d'arbres,	Protéger le barrage créé	- nombre de plants mis en terre,	Berge du barrage	Population, service de l'environnement de l'Atacora, Comité de gestion, DG-Eau ,	X	X
Risques de conflits entre agriculteurs et éleveurs	sensibilisations	Minimiser les risques de conflits entre agriculteurs et éleveurs	Nombre de producteurs sensibilisés	Sinaou	DG-Eau , Service des ressources animales de Pehunco, Comité de gestion, Services de l'agriculture	X	X

Tableau 41: Coût des actions environnementales retenues

Mesures	Unités	Quantité	PU (FCFA)	Montants (FCFA)
1. Mesures d'atténuation et de bonification				
Reboisements compensatoire	Plants	2500	1 000	2 500 000
Délimitation des berges (sur 3 km par berge)	km	6	300 000	1 800 000
Animation/ sensibilisation sur les maladies hydriques	Séances	3	500 000	1 500 000
Couloirs d'accès au barrage	km	66	300 000	29 600 000
Sous-total 1				35 800 000
2. Appui à l'organisation des producteurs				
Mise en place du Comité de Gestion de la retenue d'eau	Séances	2	300 000	600 000
Appui à l'élaboration des textes réglementaires de la gestion de l'infrastructure		2	300 000	600 000
Sous-total 2				1 800 000
3. Formations techniques				
Techniques d'entretien des ouvrages hydrauliques	Session	2	500 000	1 000 000
Sous-total 3				1 000 000
4. Mesures d'accompagnement				
Réalisation d'un forage	Forage	2	16 000 000	16 000 000
Sous-total 4				16 000 000
5. Suivi et surveillance				
Surveillance / contrôle des travaux	Mois	4	500 000	2 000 000
Sous-total5				3 200 000
TOTAL GENERAL = sous totaux (1+2+3+4+5)				68 600.000

Annexe 10 : Evaluation de la retenue**Tableau 42: Devis quantitatif et estimatif du barrage de sinaou**

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	Unité	Prix unitaire FCFA HTVA		
				Quantité	Montant FCFA HTVA
I	Installation et repli du matériel de chantier				
1.1	Amené et repli du matériel	FF	30 000 000	1	30 000 000
1.2	Installation du chantier	FF	17 500 000	1	17 500 000
1.3	Laboratoire de chantier	FF	25 000 000	1	25 000 000
	Sous- total-I				72 500 000
II	Tranchée d'ancrage et fondation				
2.1	Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	6 000	3 831,00	22 986 000
2.2	Remblai aux engins pour tranchée d'ancrage	m3	7 000	5 385,00	37 695 000
	Sous-Total-II				60 681 000
III	Digue				
3.1	Débroussaillage-décapage (min 20 cm)	m2	300	26 444,38	8 933 314
3.3	Remblai latéritique compacté aux engins pour digue	m3	5 500	64 375,00	124 062 500
3.4	Déblai aux engins pour drain	m3	5 000	807,8	8 039 000
3.5	Déblai aux engins pour butée	m3	5 000	807,8	16 039 000
3.6	Couche de pose filtrante talus amont (e=15cm)	m3	4 000	921	7 684 000
3.8	Perré sec Amont (épaisseur = 25cm)	m3	20 000	1382	37 640 000
3.9	Sable pour filtres horizontal (ép=50 cm)	m3	9 000	2 764,00	24 876 000
3.10	Moellons latéritique pour talus aval	m3	30 000	690	25 700 000

3.11	Déblai à la main à travers remblai (muret de crête)	m3	5 000	428,68	4 143 400
3.12	Déblai à la main à travers remblai (parapet)	m3	5 000	429,36	8 146 800
3.13	Maçonnerie de moellons pour Parapet	m3	60 000	856,6	71 396 000
3.14	Béton ordinaire pour mur parapet	m3	100 000	390	39 000 000
3.15	PVC évacuation dia.40mm pour le drainage des eaux à travers le mur parapet	ml	1 260	200	252 000
3.16	Enrochement à la main pour butée	m3	15 000	414	12 210 000
3.17	Enrochement à la main pour drain	m3	15 000	207,8	4 117 000
3.18	Couche de couronnement crête	m3	5 000	684,34	3 421 700
	Sous-Total-III				215 218 337
IV	Evacuateurs de crue				
4.1	Déblai aux engins pour bassin de dissipation et chenal	m3	5 000	3 500,00	17 500 000
4.2	Déblai à la main	m3	5 000	516	2 580 000
4.3	Béton ordinaire bêche amont	m3	100 000	175	17 500 000
4.4	Béton de propreté	m3	50 000	70	3 500 000
4.5	Béton armé 350	m3	120 000	2 800,00	336 000 000
4.6	Béton ordinaire 300 pour Bassin	m3	100 000	280	28 000 000
4.7	Remblai pour stabilisation des bajoyers	m3	6 000	960	5 760 000
4.8	Béton de propreté sous la fondation du seuil	m3	50 000	40,32	2 016 000
4.9	Béton de propreté pour bajoyers	m3	50 000	9	450 000
4.10	Béton armé dosé à 350kg/m3 pour bajoyers, rideaux et contreforts	m3	140 000	1771,2	247 968 000
4.11	Béton armé dosé à 350kg/m3 coulé à plat pour bassin de dissipation	m3	140 000	560	78 400 000
4.12	Joints Water stop	ml	40 000	52	2 080 000
4.13	Echelle limnimétrique cuvette	u	90 000	6	540 000

4.14	Gabion métallique posés	m3	35 000	900	32 500 000
4.15	Enrochements de protection aval	m3	15 000	372	6 580 000
4.16	Barbacane en PVC DN40	ml	2 000	240	480 000
4.17	Garde-corps en tube galvanisé DN60	ml	2 500	700	1 750 000
	Sous-Total-IV				881 480 623
	Diguettes de protection				
V	Débroussaillage-décapage (min 20 cm)	m²	300	240	5 900 000
5.1	Remblai latéritique compacté aux engins pour digue aval	m3	5 500	395	33 700 000
5.2	Perré maçonné talus amont	m2	10 000	430	22 000 000
5.3	Maçonnerie de moellons butée de pied	m3	9 000	430	18 000 000
5.4	Perrés secs pour drain de pied aval	m3	20 000	215	20 000 000
	Sous-Total-V				99 876 600
VI	Ouvrages de prise rive gauche				
6.1	Déblai à la main pour bacs	m3	5 000	15,4	77 000
6.2	Déblai à la main pour conduite	m3	6 000	144	864 000
6.3	Conduite en fonte de 400 mm de diamètre	ml	150 000	68	10 200 000
6.4	Béton de propreté conduite	m3	50 000	8,6	430 000
6.5	Béton de propreté bacs	m3	50 000	2	100 000
6.6	Vanne papillon Diamètre400 et accessoires	u	4 000 000	2	8 000 000
6.7	Crépine Diamètre 350 (locale)	u	100 000	2	200 000
6.8	Béton armé dosé à 350 kg/m3 pour enrobage conduite	m3	140 000	91,2	12 768 000
6.9	Béton armé coulé en élévation pour bacs	m3	145 000	32,6	4 727 000
6.10	Béton armé coulé à plat pour bacs	m3	140 000	14,8	2 072 000
6.11	Béton armé en rélevation écrans	m3	145 000	8,6	1 247 000
6.12	Perré maçonné pour bac amont et aval	m3	25 000	6,6	165 000

6.13	Enrochement pour bac amont et aval	m3	15 000	6,2	93 000
6.14	Maçonnerie de moellons escaliers	m3	80 000	48	3 840 000
6.15	Echelle de descente dans les bacs de fabrication locale en amont	u	150 000	2	300 000
6.16	Echelle de descente dans les bacs de fabrication locale en aval	u	150 000	2	300 000
6.17	Caillebotis posé sur cornière pour bacs amont et aval (grille)	m2	75 000	19,2	1 440 000
6.18	Echelle limnimétrique (niveau d'eau au-dessus de la prise)	ml	100 000	12	1 200 000
	Sous-Total-VI				48 023 000
VII	Coûts de mise en œuvre des mesures environnementales				68 600 000
	Sous-Total-VII				68 600 000
	Total en Hors Taxes =				1 600 783 214
	T.V.A. =			0,18	288 140 979
	Total en T.T.C. =				1 886 275 583

Annexe 11 : Plans

Plan N°1 : Coupe en travers de la digue

Plan N°2 : Coupe en travers du déversoir

Plan N°3 : Detail déversoir

Plan N°4 : Detail Ouvrage de prise

Plan N°5 : Profil en longue de la digue et déversoir

Plan N°5 : Plan de masse