



De l'EIER ETSHER à 2iE,  
50 ans au service de l'Afrique



# ETUDES TECHNIQUES POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE BASSINI, COMMUNE DE KEROU, DEPARTEMENT DE L'ATACORA, AU BENIN

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE  
AVEC GRADE DE  
**MASTER**  
**SPECIALITE : GENIE-CIVIL ET HYDRAULIQUE**

Présenté et soutenu publiquement le 02 Juillet 2019 Par :

**KOMBASSERE Aristide Junior (2013 1108)**

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

**Maître de stage : Mr. David Kiswendsida ZOUNGRANA, Directeur Technique GéSeB**

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Addou **LAWANE**

Membres et Correcteurs : Mr Issa **MADOUGOU**

Dr Omar **SORE**

POMOTION 2018/2019

## CITATION

*« Ne renonce jamais à tes rêves, sois attentif aux signes. »*

Paulo Coelho

## **DEDICACE**

# **A LA FAMILLE KOMBASSERE**

## REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements vont à l'endroit de toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ma formation, plus particulièrement à :

- La Direction de 2iE à travers tout son personnel, en particulier à tous ces encadreurs qui ont contribué à ma formation au sein de cette prestigieuse école ;
- Monsieur Moussa LO, mon directeur de mémoire, enseignant au département Génie Civil et Hydraulique pour sa disponibilité et le suivi de ce travail ;
- Tout le personnel de la structure GéSeB pour son accueil ;
- Monsieur ZOUNGRANA David, mon maître de stage et Directeur Technique de Général Service Burkina (GéSeB), pour nous avoir permis d'effectuer notre stage au sein de sa structure et surtout pour son expertise et la générosité dont il a fait preuve ;
- Ma précieuse famille, pour le soutien inconditionné ;
- A mes amis de classe SALASSI Simon Pierre et ADUFU Daniel pour leur éclaircissement et leur disponibilité.

## RESUME

Ce mémoire présente l'étude technique pour la construction du barrage de Bassini localisé dans le bassin du Niger à vocation Hydro-agricole au bénéfice de la population du village de Bassini dans la commune de Kerou, département de l'Atacora, au Bénin. La construction du barrage répond ici à un contexte de pénurie d'eau dans la commune.

Le barrage de Bassini est situé à l'exutoire d'un bassin versant de 66,221 km<sup>2</sup> qui permet d'apporter un volume moyen de 2 006 308 m<sup>3</sup>. La cuvette présente une superficie de 43 ha avec un volume stockable de 458 230 m<sup>3</sup> au Plan d'Eau Normal (P.E.N), avec une cote de fond de la cuvette prit à 325 m pour la culture du riz.

La digue du barrage de Bassini est en remblai homogène argileux, de 905 m de long pour 8,5 m de hauteur avec largeur en crête de 5 m.

Le déversoir est central en béton de section trapézoïdale, long de 120 m, conçu pour évacuer une crue centennale de 227 m<sup>3</sup>/s calé à la cote 340,41 m. A l'aval, se trouve un bassin de dissipation à ressaut de type II.

Un ouvrage de prise calé à la cote 335,80 m, permet d'alimenter l'abreuvoir, l'aire de lessive aménagée à l'aval de la digue ainsi que le périmètre irrigué de 43 ha qui sera aménagé.

Le coût de l'ouvrage est évalué 1 701 193 439 (un milliard sept cent un millions cent quatre-vingt-treize mille quatre cent trente-neuf mille) FCFA TTC toutes composantes confondues.

### Mots clés :

- 
- 1- Hydro-agricole
  - 2- Bassini
  - 3- Périmètre irrigué
  - 4- Déversoir section trapézoïdale
  - 5- Digue en remblai argileux

## **ABSTRACT**

This dissertation presents the technical study for the construction of the Bassini dam located in the Niger basin for hydro-agricultural purposes for the benefit of the population of Bassini village in Kerou commune, Atacora department, Benin. The construction of the dam here responds to a context of water scarcity in the commune.

The Bassini dam is located at the outlet of a 66,221 km<sup>2</sup> watershed that provides an average volume of 2,006,308 m<sup>3</sup>. The basin has an area of 43 ha with a storable volume of 458 230 m<sup>3</sup> to the Normal Water Plan (P.E.N), with a bottom dimension of the bowl taken to 325 m for rice cultivation.

The dam at Bassini Dam is a homogeneous clay fill, 905 m long and 8.5 m high with a crest width of 5 m.

The spillway is a trapezoidal section concrete, 120 m long, designed to evacuate a centennial flood of 227 m<sup>3</sup> / s at 340.41 m. downstream, there is a type II dissipation pond.

A catch structure set on the 335.80 m shore is used to feed the watering trough, the laundry area built downstream from the dike and the irrigated area of 43 ha to be laid out.

The cost of the work is estimated at 1 701 193 439 (one billion one hundred and nineteen million eight hundred eighty-one thousand three hundred and sixty thousand) FCFA including all components.

### **Keywords:**

---

**1- Hydro agricultural**

**2- Bassini**

**3- Irrigated perimeter**

**4- Trapezoidal section weir**

**5- Dike in clay backfill**

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**2IE** : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

**CIEH** : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

**ORSTOM** : Office de la Recherche scientifique et technique d'Outre-Mer

**PEN** : Plan d'Eau Normal

**PHE** : Plus Hautes Eaux

**TN** : Terrain Naturel

**Ha** : Hectare

**EIES** : Eude d'Impact Environnemental et Social

**IRD** : Institut de Recherche pour le Développement

**GPS** : Global Positioning System

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

**RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

**PGES** : Plan de Gestion Environnemental et Social

**ABN** : Autorités du bassin du Niger

**GéSeB SA.s** : Général Service du Burkina

**BOAD** : Banque Ouest Africaine de Développement

## TABLE DES MATIERES

CITATION.....	1
DEDICACE .....	2
REMERCIEMENTS.....	3
RESUME .....	4
ABSTRACT.....	5
Liste des abréviations.....	6
TABLE DES MATIERES .....	7
Liste des tableaux.....	10
Liste des figures .....	12
I. OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	15
I.1. OBJECTIF GENERAL .....	15
I.2. OBJECTIFS SPECIFIQUES .....	15
II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	17
II.1. Localisation du site du barrage.....	17
II.2 Caractéristiques géo-climatiques de la zone .....	18
II.3. Etude socio-économique .....	20
III. METHODOLOGIE DE L'ETUDE .....	23
III.1 Matériels .....	23
III.2 Méthodologie.....	23
III.2.1. Etude socio-économique .....	23
III.2.2. Etude topographique .....	23
III.2.3. Etude géotechnique .....	24
III.2.4. Etude pluviométrique .....	24
III.3 Etudes des apports liquides.....	24

III.3.1.	Caractéristiques du bassin versant.....	24
III.3.2.	Prédétermination des crues.....	28
III.4	Conception et dimensionnement du barrage .....	33
III.4.1.	Etude de la retenue .....	33
III.4.2.	Etudes techniques du barrage.....	36
IV.	RESULTATS D'ETUDE DE CONCEPTION DE L'OUVRAGE .....	44
IV.1.	Synthèse de l'étude de base .....	44
IV.1.1.	Etude topographique .....	44
IV.1.2.	Etude géotechnique .....	44
IV.1.3.	Etude pluviométrique .....	46
IV.2.	Etude des apports liquides .....	49
IV.2.1.	Caractéristiques du bassin versant.....	49
IV.2.2.	Prédétermination des crues.....	51
IV.3.	Conception et dimensionnement du barrage .....	54
IV.3.1.	Etude de la retenue .....	54
IV.3.2.	Etudes techniques du barrage.....	58
V.	NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET ESTIMATION DU COÛT DU PROJET .....	66
V.1.	Notice d'impact environnemental .....	66
V.2.	Coût estimatif du projet.....	67
	CONCLUSIONS.....	69
	RECOMMANDATIONS – PERSPECTIVES .....	70
	BIBLIOGRAPHIE.....	71

ANNEXES .....	72
ANNEXE I : ETUDE PLUVIOMETRIQUE .....	73
1. Les pluies annuelles .....	73
2. Les pluies journalières maximales .....	74
ANNEXE II : ETUDE DES APPORTS LIQUIDES.....	77
1. Caractéristiques du bassin versant .....	77
2. Prédétermination des crues .....	79
3. La méthode du Gradex.....	82
ANNEXE III : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE.....	83
1. Etude de la retenue.....	83
2. Etudes techniques du barrage.....	88
ANNEXE IV : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE ET DEVIS DU PROJET..	99
1. Etude d'impact environnementale et social .....	99
2. Devis estimatif du projet.....	105
ANNEXE V : LES PLANS .....	114

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Paramètre climatique à Parakou de 1980 à 2017 .....	18
Tableau 2 : Tableau de classification de relief.....	27
Tableau 3 : Equation de détermination de Kr10 par la méthode de PUCH.....	29
Tableau 4 : Période de retour .....	30
Tableau 5 : Paramètre de l'équation CIEH.....	31
Tableau 6 : Fruit indicatif des talus des barrages stables.....	37
Tableau 7 : Résultats des pluies annuelles moyennes de Tchaourou.....	47
Tableau 8 : Résultats de l'analyse des pluies maximale journalière de Tchaourou .....	48
Tableau 9 : Synthèse de l'étude pluviométrique .....	49
Tableau 10 : Caractéristiques du bassin versant .....	51
Tableau 11 : Paramètre de calcul du débit de crue .....	51
Tableau 12 : Paramètre de synthèse du débit de crue .....	52
Tableau 13 : Apport liquide du bassin versant.....	53
Tableau 14 : Estimation des besoins .....	55
Tableau 15 : Evaporation dans la retenue .....	56
Tableau 16 : Estimation du volume des sédiments.....	57
Tableau 17 : Caractéristique de la digue.....	58
Tableau 18 : Caractéristique du déversoir .....	61
Tableau 19 : Vérification de la stabilité du déversoir .....	62
Tableau 20 : Section d'acier du mur bajoyer .....	63
Tableau 21 : Caractéristique du mur bajoyer .....	63
Tableau 22 : Analyse des pluies de séries annuelles.....	73
Tableau 23 : Résultats de l'ajustement des pluies de séries annuelles .....	74
Tableau 24 : Analyse des séries des pluies maximales journalières .....	75
Tableau 25 : Résultats de l'ajustement des séries de pluies maximales journalières .....	76
Tableau 26 : Détermination des Tb.....	79
Tableau 27 : Détermination de kr10 par la méthode ORSTROM .....	80
Tableau 28 : Débit de pointe décennal de la méthode CIEH.....	81
Tableau 29 : Détermination des surfaces et des volumes .....	83
Tableau 30 : Estimation des besoins agricole .....	87
Tableau 31 : Estimation des besoins domestiques.....	87

Tableau 32 : Estimation des besoins pastoraux .....	87
Tableau 33 : Les pertes par évaporation .....	88
Tableau 34 : Stimulation des pertes de la retenue.....	88
Tableau 35 : détermination de la longueur de seuil déversant.....	93
Tableau 36 : Profondeur d'ancrage.....	93
Tableau 37 : Stabilité du déversoir .....	95
Tableau 38 : Stabilité du mur bajoyer.....	96
Tableau 39 : Paramètres de calcul du chenal d'évacuation .....	97
Tableau 40 : Les calculs du bassin de dissipation.....	97
Tableau 41 : Plan d'atténuation et de gestion environnementale et sociale .....	99
Tableau 42 : Devis estimatif du projet.....	105

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Présentation de la zone d'étude .....	17
Figure 2 : Présentation du bassin versant.....	50
Figure 3 : Courbe d'exploitation de la retenue .....	57
Figure 4 : forme de la digue du barrage .....	58
Figure 5 : Hydraulique interne.....	59
Figure 6 : Présentation de la digue avec ancrage.....	60
Figure 7 : Caractéristiques géométriques et actions exercées sur le mur bajoyer .....	62
Figure 8 : Stabilité du déversoir.....	94
Figure 9 : Caractéristique des chicanes et des blocs de chutes .....	98
Figure 10 : Plan de masse .....	115
Figure 11 : Profil en long du barrage .....	116
Figure 12 : Coupe en travers de la digue .....	117
Figure 13 : Plan du déversoir.....	117
Figure 14 : Ouvrage de prise.....	118

## INTRODUCTION

L'eau représente une source indispensable à la survie de tout être vivant sur terre. Il est donc primordial de mettre un accent particulier sur la gestion et l'utilisation optimale de l'eau. En effet, en ce qui concerne l'Afrique de l'Ouest précisément les pays du Sahel, la gestion et la quantité de l'eau pose problème pendant les longues périodes sèches, car les populations sont amenées à rechercher de l'eau pour la consommation, pour l'agriculture et même pour l'élevage. De plus, plusieurs facteurs tels que le changement climatique, la forte croissance démographique et une mauvaise politique de gestion pourraient être à l'origine de ces différents maux auxquels nous voudrions apporter des solutions.

Ayant pour but de promouvoir les ressources du fleuve Niger, les neuf pays (Guinée ; Mali ; Niger ; Bénin ; Nigéria ; Burkina Faso ; Côte d'Ivoire ; Cameroun ; Tchad) ayant en partage le bassin de ce fleuve ont créé l'Autorité du Bassin du Niger (ABN) en 1980. Son objectif est d'animer la coopération entre les pays membres afin d'assurer un développement intégré du Bassin du Niger par la mise en valeur de ses ressources.

Le bassin du fleuve du Niger a connu une dégradation avancée caractérisée par la diminution des ressources naturelles, l'appauvrissement des populations et l'insécurité alimentaire. Constat ainsi fait, les Chefs d'Etat et de Gouvernements de l'ABN ont décidé en Février 2002 de l'élaboration d'une « Vision claire et partagée » afin de favoriser un développement intégré, paisible et durable du bassin du Niger.

Dans le cadre de la mise en œuvre d'un « Programme de Développement d'Infrastructure Socio-économiques et de la Sécurité Alimentaire dans le Bassin du Niger » (PDISSA), une note conceptuelle a été élaborée par l'ABN en vue de mobiliser la contribution annoncée par la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD).

Au Bénin, le problème lié à l'eau n'affecte pas directement tous les départements. Certains départements comme celui de l'Alibori et de Borgou sont fortement exposés aux risques de changement climatique qui se manifeste par, des vents violents, des périodes de sécheresse pendant la saison pluvieuse, des ruptures brusques de pluie et modifications du régime pluviométrique (*RGPH-4, 2013*). Ces différents facteurs énumérés constituent un véritable problème pour le développement de certains départements du territoire béninois quand on sait que l'agriculture est l'activité principale de la commune de Kérou (*Monographie de la commune de Kerou*). Raison de plus pour apporter notre expertise en ce qui concerne la gestion optimale de l'eau source de vie. C'est dans ce contexte que l'ABN à travers le

« Programme de Développement d'Infrastructure Socio-économiques et de la Sécurité Alimentaire dans le Bassin du Niger » en collaboration avec la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD) ont prévu la construction au Bénin de sept (07) retenues d'eau à but multiples et l'aménagement hydro- agricole de 750 hectares de périmètre irrigués.

La réalisation de l'une de ces retenues, soit le barrage de Bassin a été confié à l'entreprise « Général Service Burkina », structure qui nous a accueillis tout au long de notre période de stage.

Le présent mémoire rend compte de nos différentes activités menées autour du thème « **Etudes techniques pour la construction du barrage de Bassini, Commune de Kérou, département de l'Atacora au Bénin** ». Elle retrace l'ensemble des travaux que nous avons menés tout au long de la durée de notre stage au sein de l'entreprise.

L'ensemble des travaux s'articule autour de deux grandes parties : La première concerne la présentation de la zone d'étude ainsi que l'approche méthodologique.

Dans la seconde partie, il sera question des résultats de notre étude en mettant en exergue les dimensions des différents ouvrages.

Tout au long des lignes qui suivront cette étude, nous nous efforcerons de suivre le canevas en ce qui concerne les étapes de conception d'un barrage.

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

### **I.1. OBJECTIF GENERAL**

La construction du barrage de Bassini est un projet né sous l'impulsion de l'Autorité du Bassin du Niger, dans la dynamique des actions entreprises pour le développement du bassin du Niger et de la commune de Kérou. L'objectif général de ce stage est l'élaboration de l'avant-projet détaillé (APD) du barrage de Bassini dans le département de l'Atacora au Bénin.

### **I.2. OBJECTIFS SPECIFIQUES**

Il s'agit plus spécifiquement de :

- Faire la synthèse de l'étude de base, en mettant en relief les paramètres qui serviront au dimensionnement de l'ouvrage ;
- Conduire une étude hydrologique et définir la crue de projet ;
- Faire la conception et le dimensionnement des ouvrages du barrage ;
- Fournir les plans d'exécution des différents ouvrages dimensionnés ;
- Faire la synthèse des études d'impact environnemental et sociale du projet ;
- Produire un devis quantitatif et estimatif des ouvrages à réaliser.
- Proposer un plan de gestion environnemental et social.

Comme résultat attendus, nous essayerons de faire ressortir les points suivant :

- Détermination du périmètre du bassin versant ;
- Estimation du débit de projet ;
- Estimation des apports au droit de l'exutoire du Bassin Versant ;
- Conception et dimensionnement des différents ouvrages du barrage (digue, déversoir, ouvrage de prise, de vidange...)
- Le profil en long de la digue ;
- Le profil en travers de la digue ;

- Les plans et coupes du déversoir ;
- Les plans et coupes des ouvrages annexes ;
- Les plans d'exécutions ;
- Estimer le coût total des travaux ;
- Proposer un plan de gestion environnemental et social.

## II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### II.1. Localisation du site du barrage

Située au Nord-Est du département de l'Atacora au Bénin, la commune de Kérou est limitée au Nord par le Burkina Faso, à l'Est par les communes de Banikoara et de Gogounou dans le département de l'Alibori, au Sud –Est par la commune de Sinendé dans le département du Borgou et au Sud par la commune de Péhunco à l'Ouest, elle fait frontière avec la commune de Kouandé et au Nord-Ouest elle est limitée par la commune de Tanguiéta.

La commune de Kérou est située entre les vallées de l'Alibori à l'Est, la chaîne de l'Atacora à l'Ouest et le fleuve de Pendjari au Nord-ouest. Elle fait partie des neuf (09) communes que compte le département de l'Atacora. Elle s'étend sur une superficie totale de 3,745km<sup>2</sup>. Elle compte quatre (04) arrondissements et vingt-huit (28) villages parmi lesquels se trouve le village de Bassini qui abritera la construction du **Barrage de Bassini**.

Les coordonnées géographiques du site sont :

La **figure 1** ci-dessous nous renseigne sur la localisation du site du projet.

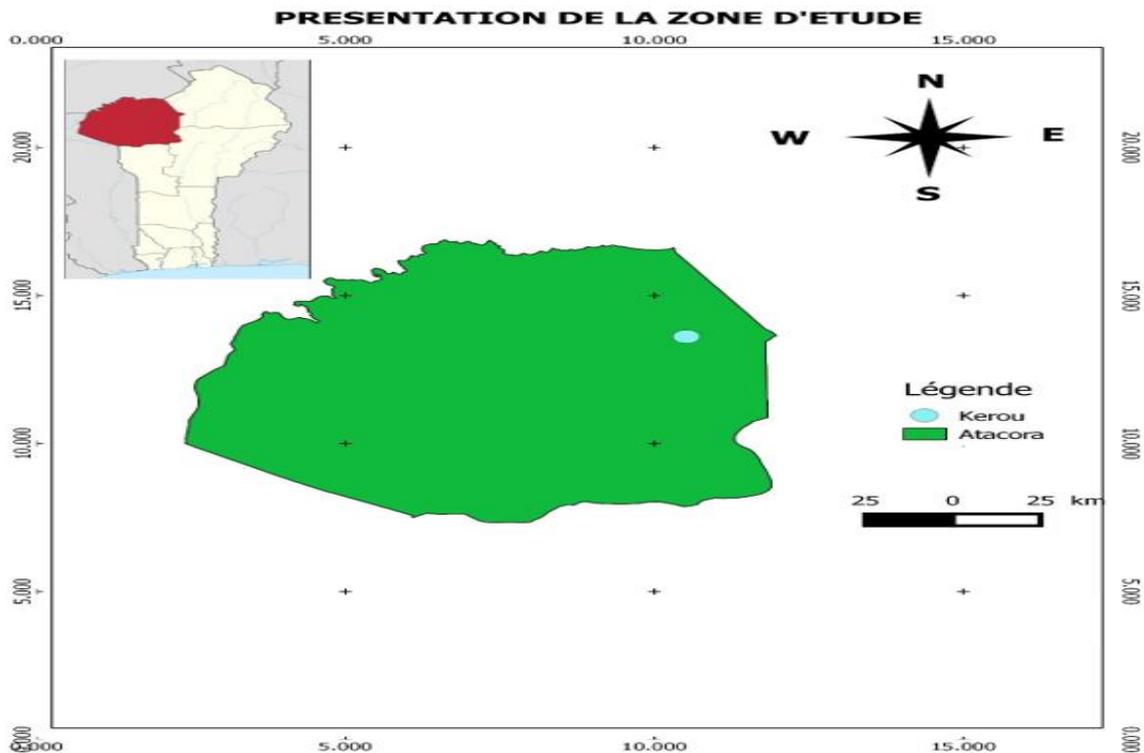


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude

## II.2 Caractéristiques géo-climatiques de la zone

### ➤ Climat et pluviométrie

De type Soudano-guinéen, le climat de la commune de Kérou est caractérisé par une saison de pluie, allant de mi-avril à mi-octobre, et une saison sèche allant de mi-octobre à mi-avril. Elle appartient à une zone agro écologique caractérisée par une pluviométrie moyenne de 1000 mm d'eau par an. La température moyenne varie entre 25°C en août et 31°C en avril. L'harmattan, un vent froid et sec, souffle entre décembre et mi-mars entraînant parfois une amplitude thermique de plus de 10°C. (*Monographie de la commune de Kérou 2006*).

Les valeurs moyennes des différents paramètres climatologiques à l'échelle mensuelle ont été déterminées à partir des données météorologiques de la station synoptique de Parakou et sont recensées dans le **tableau 1** ci-dessous :

**Tableau 1 : Paramètre climatique à Parakou de 1980 à 2017**

Mois	Vents (m/s)	T min (°c)	T max (°c)	Hu moyen (%)	Evapo. Bac (mm)
Janvier	2,06	16,00	37,20	34,24	102,94
Février	2,10	20,10	38,80	39,68	96,93
Mars	2,31	22,30	39,70	51,29	103,48
Avril	2,58	22,90	38,80	63,57	89,72
Mai	2,31	21,60	35,90	71,74	71,74
Juin	2,08	21,40	32,90	76,18	54,91
Juillet	1,96	20,20	31,70	79,34	46,50
Août	1,82	20,10	30,60	81,53	41,43
Septembre	1,60	19,90	31,60	79,76	42,37
Octobre	1,62	19,90	33,50	74,53	52,63
Novembre	1,75	19,40	36,90	57,55	70,66
Décembre	1,99	16,90	37,20	40,79	93,31

### ➤ Relief

La commune de Kérou est dans son ensemble située dans une pénéplaine qui s'étire dans la ligne de partage des eaux entre les bassins du Niger et de l'Atlantique. Mais à l'Ouest le relief

est montagneux avec la présence d'un bras de la chaîne de l'Atacora dans les arrondissements de Firou et de Koabagou.

➤ *Sols*

La commune de Kérou dispose de trois (03) types de sols à savoir les sols ferrugineux tropicaux, les sols ferrallitiques et les sols hydromorphes qu'on rencontre dans les zones marécageuses et dans les bas-fonds. Kérou dispose aussi de sols noirs très riches rencontrés dans les zones des forêts classées comme les localités de Pikiré, de Fetekou et de koabagou. En dehors de ces localités envahies par les cultures du coton, les sols de la commune sont très pauvres.

➤ *Végétation*

La végétation dans son ensemble est faite de savane arborée. Elle est arborée surtout dans les forêts classées de la Pendjari et de l'Alibori et le long des cours d'eau comme le Mékrou ou elle forme des forêts-galeries. Kérou présente un paysage arboré en pleine dégradation due aux défrichements intensifs liés surtout à la culture du coton. Les ressources forestières occupent un domaine classé qui couvre 10000 ha. La végétation de la commune est dominée par les espèces comme le Néré, le Cai cédrat, le Karité et le Baobab.

➤ *Géologie*

L'essentiel de la faune de Kérou est compris dans la zone cynégétique faisant partie intégrante du parc National de la Pendjari. Les diverses espèces fauniques rencontrées sont : les buffles, les éléphants, les lions, les singes et une gamme de variété d'oiseau.

➤ *Réseau hydrographique*

La commune de Kérou est irriguée par deux (02) grandes rivières permanentes, le Mékrou et la Pendjari, avec de nombreux affluents à régime torrentiel. Mais à l'Est se sont surtout les affluents à régime torrentiel de l'Alibori qui irrigue la commune. Ce réseau hydrographique est complété par des cours d'eau dont la plupart ont un caractère saisonnier qui rendant l'accès à certains hameaux très difficile en saison de pluie. C'est sur les bras de ces cours d'eau que sont implantées les huit (08) retenues d'eau de la commune. (*Monographie de la commune de Kérou 2006*).

## II.3. Etude socio-économique

### ➤ *Etat de la population*

L'actuelle commune de Kérou serait créée au 18<sup>ème</sup> siècle, c'est-à-dire vers 1700 par des chasseurs Bariba venus de Nikki. Kérou serait la résultante de la cohabitation de trois (03) dynasties à savoir : la dynastie des Baribas dénommée "Sounon-Boké", la dynastie des Wassangari, dénommée "Faroumosso" et la dynastie des Gourmantché dénommée "Yankpangou". De ces trois (03) dynasties celle des Gourmantché fut la première à s'installer dans l'actuel quartier "karigourou" de Kérou-centre vers 1700. Ils furent rejoints après par les Baribas venus de Wénousson (région de Pikiré actuel) et s'installèrent dans l'actuel quartier "Sinagougrou" de Kérou. Ce n'est que plus tard que ces deux (02) dynasties furent rejointes par la dynastie des Wassangari "Faroumosso" venus de Nikki et qui s'installa d'abord à Kongourou puis à yakrigorou. Quelques années après leur arrivée, ils imposèrent leur hégémonie à toute la région suite à de violents combats ou ils repoussèrent les gourmantché vers l'autre côté de la montagne de l'actuel Firou. Ainsi, naquit le royaume de Kérou. Mais que signifie Kérou ? (*monographie de la commune de Kérou 2006*).

Le nom "Kérou" est la déformation du nom "Keroussou" qui signifie en Bariba " les feuilles de bambou". En effet, le marigot qui ceinture la ville de Kérou était très riche en bambou dont les feuilles servaient à faire de la vannerie. Les Baribas qui y venaient chercher ces feuilles disaient qu'ils vont à "keroussouwon". C'est-à-dire " forêt des feuilles de bambou". C'est ce nom qui fut plus tard à toute l'actuelle commune de Kérou.

Sur le plan démographique, la population de la commune de Kérou compte selon le recensement de 1992, 42491 habitants ruraux, soit 97,3% et une population urbaine de 1170 habitants, soit 2,7%. Les estimations de cette population faites en 2000 indiquent une population de : 54140 habitants dont 26979 femmes et un taux d'accroissement d'environ 3,43%.

Selon le recensement de 2013 la commune de Kérou comptait à cette période 100197 habitants pour un taux d'accroissement de 3,04

(*Cahier des villages et quartiers de ville du département de l'Atacora RGPH-4, 2013*).

## ➤ *Activités économiques*

### ❖ *Agriculture*

La production agricole est caractérisée par les principales cultures que sont :

- ✓ Mais
- ✓ Sorgho
- ✓ Igname
- ✓ Manioc
- ✓ Coton

Les techniques agricoles :

- Culture extensive, itinérante et sur brulis reste la plus pratiquée ;
- Travail à la main avec une importante destruction des espèces végétales ;
- Forte utilisation des engrais chimiques et des Insecticides ;
- La houe reste le principal outil de travail : 70% des superficies sont cultivées à la houe.

### ❖ *L'Élevage*

La production animale est dominée par l'espèce bovine, ovins, la volaille et les caprins. C'est un élevage de type traditionnel, où les animaux ne sont pas en enclos, mais vont quotidiennement à la recherche de l'eau et du pâturage sur leurs terroirs d'attache ou sur des terres avoisinantes. L'alimentation du bétail est donc assurée par les espèces fourragères naturelles (andropogons notamment) à travers la vaine pâture et quelques fois par les compléments nutritifs tels que les sels minéraux et de rares tourteaux.

Les effectifs du cheptel (principaux ruminants) de la commune de Kérou étaient les suivants :

- bovins : 62.282 têtes
- Ovins : 18.000 têtes
- Volailles : 50.000 têtes
- Caprins : 14 093 têtes.

*(Source : Monographie de la commune de Kérou 2006)*

Malgré l'existence des points d'eau qui favorisent l'abreuvement des bêtes, l'élevage reste encore très peu développé au niveau de la commune. En dehors du petit élevage pratiqué au niveau des ménages, l'activité pastorale est essentiellement le fait des communautés peuhl qui en fait leur principale occupation.

❖ **Commerce**

- 05 marchés périodiques : celui de Kérou est le plus important et s'anime tous les quatre jours.
- Nombreuses boutiques et autres baraques de gargotières ;
- Marché de coton avec une production de 19.000 tonnes pour la campagne agricole de 2001/2002 ;
- Productions variées : céréales ; tubercules, produits manufacturés et pétroliers, des services comme le transport intercommunal ;
- 19.60% des actifs de la population opèrent dans le commerce.

. (Cahier des villages et quartiers de ville du département de l'Atacora RGPH-4, 2013).

### III. METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Nous avons adopté une démarche scientifique, afin de mieux répondre aux exigences de la conception et du dimensionnement du barrage.

#### III.1 Matériels

Les matériels utilisés pour la conception et le dimensionnement du barrage de Bassini sont les suivants :

- ✓ Un GPS pour relever les coordonnées des points importants sur le site.
- ✓ Google Earth et Global Mapper V.16 pour la délimitation du bassin versant.
- ✓ Le logiciel QGIS pour l'élaboration des différentes cartes.
- ✓ Le logiciel Hyfran pour la vérification des traitements statistiques.
- ✓ Le logiciel CROPWAT 8.0 de la FAO pour la détermination des coefficients cultureux.

#### III.2 Méthodologie

##### III.2.1. Etude socio-économique

La collecte des données socioéconomiques a démarré par une revue documentaire dont la finalité est d'accéder aux informations nécessaires pouvant contribuer à la réalisation de l'étude.

Le but visé par cette étude socioéconomique est de connaître les grandes orientations du développement, d'apprécier les conditions de valorisation du site et son importance dans l'économie de la localité, de collecter les données statistiques sur les ménages du village et les informations sur les questions foncières autour de la retenue.

##### III.2.2. Etude topographique

Une campagne topographique a été menée par une équipe de SETEM-BENIN par une équipe de topographe. Cette campagne a consisté à la mise en place d'une polygonale de base ayant servi d'ossature pour les levés de détail.

Les levés de terrain naturel (TN) de l'axe de la digue et de la cuvette ont été effectués pour donner le maximum d'information tout en prenant les points de détails particuliers.

A l'issue du report des plans de masse du site du barrage y compris des ouvrages existants et le profil en long de l'axe de la digue, ont été élaborés.

### III.2.3. Etude géotechnique

Des travaux de reconnaissance géotechnique ont été menés pour identifier le sol de la fondation de l'axe du barrage, rechercher les sites emprunts de matériaux de construction (matériau de remblai compacté, gravier, agrégats de béton et moellons) et effectuer des tests de chantier

### III.2.4. Etude pluviométrique

Les variables pluviométriques (pluies annuelles et pluies maximales journalières) recueillies à partir de la station de Tchaourou ont été soumises à une analyse statistique sur Excel afin de déterminer les quantiles pour différentes périodes de retour.

Les données de la série pluviométrique annuelle ont été ajustées avec la loi normale de GAUSS sur un échantillon de 31 valeurs valides de 1980 à 2016. Sa fonction de répartition est la suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad \text{Avec } u = \frac{x-\bar{x}}{s} \text{ la variable réduite}$$

Cette loi présente deux (02) paramètres qui sont la **moyenne  $\bar{x}$**  et l'**écart type  $s$** .

Celles de la série de pluies maximales journalières ont été ajustées avec la loi de Gumbel sur un échantillon de 31 valeurs valides de 1980 à 2016. Sa fonction de répartition est la suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-u}} \quad \text{Avec } u = a(x - x_0) \text{ la variable réduite}$$

Cette loi présente deux (02) paramètres qui sont  **$x_0$  Paramètre de position** et  **$1/a$  Paramètre d'échelle**.

## III.3 Etudes des apports liquides

### III.3.1. Caractéristiques du bassin versant

#### La taille et la morphologie du bassin versant

La détermination des caractéristiques morphologiques du bassin versant alimentant la retenue d'eau de Bassini a été réalisée à partir des modèles numériques de terrain. Ensuite les données ont été traitées avec les logiciels Google Earth Pro et Global Mapper. Nous avons ainsi pu définir, différents paramètres physiques du bassin versant.

### ✚ L'indice de compacité de Gravelus

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

$I_{comp} = 0,282 * P * S^{-1/2}$  Avec  $P$  : le périmètre du bassin, en km ;

$S$  : la superficie du bassin, en km<sup>2</sup>.

Si  $I_{comp}$  est proche de 1, le bassin a une forme circulaire. Pour  $I_{comp} \gg 1$  le bassin est allongé.

### ✚ La longueur du rectangle équivalent

La notion de rectangle équivalent permet de comparer facilement des bassins versants entre eux. Le rectangle équivalent est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin versant. Sa longueur en km est donnée par les expressions suivantes

$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4}$  Avec  $P$  : le périmètre du bassin, en km ;

$S$  : la superficie du bassin, en km<sup>2</sup> ;

### ✚ La courbe hypsométrique

Elle représente le pourcentage de la superficie  $S$  du bassin versant situé au-dessus d'une altitude donnée  $H$ , en fonction de cette même altitude. Ces altitudes et surfaces sont extraits de Global Mapper et traité avec Excel afin de ressortir la courbe.

### ✚ L'indice de pente global

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

$Ig = \frac{D}{L}$  Où,  $D$  : représente la dénivelée, exprimée en mètres, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles ; ces altitudes sont déterminées sur la courbe hypsométrique ;

$L$  : est la longueur du rectangle équivalent, en km ;

$Ig$  : est exprimé en m/km.

### **Indice global de pente corrigé**

Lorsque les pentes transversales sont peu différentes de  $I_g$  (différence de moins de 20%), ce dernier représente assez bien la pente du bassin. Dans le cas contraire, on calcule un indice de pente global corrigé  $I_{g_{cor}}$  défini par la formule :

$I_{g_{cor}} = \frac{(n-1) \cdot I_g + I_t}{n}$  Où  $n$  est un coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent :

Avec  $n = 2$  pour  $L < 5 \text{ km}$   
 $3$  pour  $5 \text{ km} < L < 25 \text{ km}$   
 $4$  pour  $25 \text{ km} < L < 50 \text{ km}$   
 $5$  pour  $50 \text{ km} < L$

Il est déterminé en faisant la moyenne de 04 à 06 pentes transversales calculées en prenant la ligne de plus grande pente des versants. Il est exprimé en m/km.

### **Classes de bassins en fonction de la pente**

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

R1 : pentes extrêmement faibles,  $< 0,2\%$

R2 : pentes faibles,  $< 0,5\%$

R3 : pentes modérées entre  $0,5\%$  et  $1\%$

R4 : pentes assez fortes, pentes longitudinales entre  $1\%$  et  $2\%$ , et pentes transversales supérieures à  $2\%$ .

R5 : pentes fortes, pentes longitudinales entre  $2\%$  et  $5\%$ , et pentes transversales entre  $8\%$  et  $20\%$ .

R6 : pentes très fortes, pentes longitudinales supérieures à  $5\%$ , et pentes transversales supérieures à  $20\%$ .

*Source : Maîtrise des crues dans les bas-fonds, petits et micro barrages en Afrique de l'Ouest. (P. 354 et 355)*

La longueur du rectangle équivalent étant généralement proche de celle du plus long cours d'eau,  $I_g$  reste voisin de la pente longitudinale. Nous allons donc utiliser  $I_g$  pour la classification du bassin versant.

### ✚ La densité de drainage

La densité de drainage est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant et est en m/km<sup>2</sup>

$$Dd = \frac{\sum Li}{S} \quad \text{Avec } \sum Li : \text{la longueur totale des cours d'eau en km}$$

$S$  : la surface du bassin en km<sup>2</sup>

### ✚ La dénivelée spécifique

Produit de l'indice de pente global ( $Ig$ ) par la racine carrée de la superficie du bassin ( $S$ ). Elle s'exprime en mètres et est définie par :

$$Ds = Ig * \sqrt{S}$$

Avec  $S$  : la superficie du bassin, en km<sup>2</sup>

$Ig$  : l'indice global de pente en m/km

On peut distinguer différentes classes de relief en fonction de  $Ds$  :

**Tableau 2 : Tableau de classification de relief**

Relief faible	$Ds < 50$ m
Relief modéré	$50 \text{ m} < Ds < 100$ m
Relief fort	$100 \text{ m} < Ds$

### ✚ Infiltrabilité des sols

C'est l'aptitude d'un terrain à l'infiltration. Nous allons utiliser les résultats des essais doubles anneaux effectués dans certains endroits du bassin versant afin d'identifier la nature du sol. Une fois cette dernière identifiée, nous allons la classer suivant la classification qualitative adoptée par Rodier comprenant six classes (l'indice placé entre parenthèses correspond à l'ancienne nomenclature utilisée par Rodier et Auvray, 1965)

**TI (P1)** : bassin rigoureusement imperméable ;

Un bassin naturel particulièrement imperméable **PI**, qui se situe à la frontière des classes 1 et TI ;

**I (P2)** : bassin imperméable ;

**RI (P3)** : bassin relativement imperméable ;

**P (P4) :** bassin perméable ;

**TP :** bassin très perméable.

*Sources : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahéliennes et tropicale sèche page 12.*

### III.3.2. Prédétermination des crues

Le cours d'eau, à travers lequel s'implantera le barrage, n'étant pas suivi au point de vue hydrologique, la détermination des débits de crue décennale se fera par la méthode déterministe de l'ORSTOM, et CIEH. Nous appliquerons également la méthode de détermination du débit centennale par la méthode de Gradex.

#### Pluie journalière décennale P10 et centennale journalière P100

Les hauteurs d'averse décennale P10 et centennale P100 sont assimilées aux pluies journalières de même fréquence. Elles sont déterminées à partir d'ajustements statistiques effectués sur les observations pluviométriques de la station de Tchaourou.

#### Coefficient d'abattement

La précipitation moyenne décennale sur le bassin versant **Pm<sub>10</sub>**, est obtenue en multipliant la hauteur de précipitation ponctuelle P<sub>10</sub> par le coefficient d'abattement A, déterminée par l'équation simplifiée de Villaume en 1974.

**Pm<sub>10</sub> = A \* P<sub>10</sub>** Avec A : le coefficient d'abattement donné par

$$A = 1 - \left( \frac{162 - 0,042 * P_{an}}{1000} \right) * \log(S)$$

*P<sub>10</sub> : la précipitation maximale décennale en mm*

*S : la superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>*

*P<sub>an</sub> : la hauteur moyenne de précipitation annuelle, en mm.*

#### Temps de base (Tb)

Le temps de base est le temps compris entre le début et la fin du ruissellement rapide. En région tropical sèche, le temps de base est donné par : **Tb = a \* S<sup>0,36</sup> + b** les coefficients a

et **b** sont des paramètres fonction de l'indice global pente, de la perméabilité et de la zone d'appartenance climatique du bassin versant.

Pour déterminer la valeur de **Tb** dans notre cas, nous allons interpoler entre les valeurs de **Igcor** encadrant l'indice de pente du bassin versant analysé.

### Temps de montée (Tm10)

Le temps de monté **Tm** est le temps qui s'écoule entre le début du ruissellement et le maximum de la crue. Dans la zone tropicale sèche, en toute première approximation et en l'absence de particularités physiographiques, on peut considérer que le temps de montée représente le tiers du temps de base :  $Tm_{10} = 0,33 * Tb_{10}$

Le coefficient de ruissèlement décennal (Kr10)

- **Estimation de Kr10 par la méthode d'ORSTOM**

L'estimation du coefficient de ruissellement  $Kr_{10}$  est faite par interpolation linéaire entre les valeurs  $Kr_{70}$  et  $Kr_{100}$ . Ces valeurs sont déterminées à partir de formules suivante :

$$Kr_{70} \text{ ou } Kr_{100} = \frac{a}{(S+b)} + c$$

(cf. crue et apport, manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versant non jaugeé de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. FAO CEMAGREF ORSTOM CIEH : 1996 pages 45 à 52)

- **Estimation de Kr10 par la méthode de CIEH**

L'évolution de  $Kr_{10}$  (%) en fonction de la géologie et de la pluie annuelle déterminée par la méthode de PUECH et CHABI-GONNI en 1983 est donnée par le tableau 3 suivant :

**Tableau 3 : Equation de détermination de Kr10 par la méthode de PUCH**

Catégorie	Formulation	r	nombre
Granite + gneiss	$Kr_{10} = 2300 Pan^{-0,57}$	0,661	72
Grès	$Kr_{10} = 300 Pan^{-0,375}$	0,361	18
Sable	$Kr_{10} = 2107 * Pan^{-2,2}$	0,602	7
Argiles	$Kr_{10} = 300 * Pan^{-0,3}$	0,376	12
Schistes	$Kr_{10} = 370 * Pan^{-0,375}$	0,370	24

Source : crues et apports ; manuelle pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropical sèche. Bulletin de la FAO CEMAGREF- CIEH : 1996, page 69.

### 🚧 Période de retour

Pour un dimensionnement allant dans le sens de la sécurité, G DEGOUTTE (1997)

Recommande le choix de la durée de retour de la crue de projet suivant les situations suivantes :

**Tableau 4 : Période de retour**

$H^2\sqrt{V}$	< 5	5 à 30	30 à 100	100 à 700	>700
Période de retour (années)	100	500	1 000	5 000	10 000

. Source : Petits barrage : recommandation pour la conception, la réalisation et le suivi. G. DEGOUTTE 1997. Page 25

### ❖ Méthode ORSTOM

Dans la méthode, le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation :  $Qr_{10} = A * P_{10} * Kr_{10} * \alpha_{10} * \frac{S}{Tb_{10}}$

Avec,  $A$  : le coefficient d'abattement

$P_{10}$  : La hauteur de pluie journalière décennale

$Kr_{10}$  : Le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale

$\alpha_{10}$  : Le coefficient de pointe correspondant à la crue décennale

$S$  : La superficie du bassin versant

$Tb_{10}$  : Le temps de base correspondant à la crue décennale

### 🚧 Coefficient de pointe décennal

Le coefficient de pointe, rapport du débit maximum ruisselé  $Qr$  au débit moyen ruisselé  $Qmr$  est défini par la relation :  $\alpha_{10} = \frac{Qr_{10}}{Qmr_{10}}$

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

❖ *Méthode CIEH*

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

$$Q_{10} = a * S^s * Pan^p * Ig^i * Kr10^k * Dd^d$$

Où : a, s, p, i, k, d..... Sont des coefficients à déterminer.

S est la surface du bassin (km<sup>2</sup>)

Ig est l'indice global de pente (m/km)

Pan est la pluie annuelle moyenne (mm)

Kr10 est le coefficient de ruissellement décennal (%)

Dd est la densité de drainage (km<sup>-1</sup>)

*Source : crues et apports, manuel pour l'estimation des crues décennales et d'apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés pour l'Afrique sahélienne et tropical sèche. Bulletin FAO N°54 CELAGRF- ORSTOM-CIEH: 1996 page 61.*

▪ **Sélection des régressions pour le calcul de Q10**

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 **r<sup>2</sup>** en favorisant les échantillons pour lesquels **n** est élevé. De cette manière, on peut sélectionner les équations numéro : 26, 39, 40 et 44 sur le tableau 5.

**Tableau 5 : Paramètre de l'équation CIEH**

N°	Echantillons	Corrélation		Constante	Coefficients de l'équation de la méthode CIEH					
	n	r <sup>2</sup>	r	a	S	Ig	Pan	Pm10	Kr10	Dd
26	295	0,654	0.809	146	0,479			-0,969	0,457	
39	61	0,818	0,904	0,410	0,425				0,923	
40	60	0,824	0,908	0,254	0,462	0,101			0,976	
44	133	0,757	0,870	203	0,459			-1,301	0,813	

### ❖ *La méthode du Gradex*

Les méthodes ORSTOM et CIEH se réfèrent au calcul de la crue décennale. Sauf dans certains

cas particuliers, prévoir un temps de retour de 10 ans n'est pas suffisant pour un projet. On propose cependant ici une méthode permettant de passer de la crue décennale  $Q_{10}$  à la crue centennale  $Q_{100}$ . La relation linéaire est du type  $Q_{100} = C * Q_{10}$  où  $C$  est un coefficient majorateur supérieur à 1.

La méthode qui conduit aux estimations les plus fortes (sécurité maximale) en Afrique de l'Ouest et du Centre est la méthode dite du Gradex (Grésillon et al, 1977), utilisée pour calculer le coefficient  $C$  de passage à la crue centennale dans toute la sous-région.

Le coefficient  $C$  donné par l'expression :  $C = 1 + \frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} * \frac{(T_b/24)^{0,12}}{Kr_{10}}$

Où,  $P_{10}$  : est la précipitation journalière correspondant à une période de retour de 10 ans

$P_{100}$  : est la précipitation journalière correspondant à une période de retour de 100 ans

$T_b$  : est le temps de base en heures

$Kr_{10}$  : est le coefficient de ruissellement de la crue décennale (exprimé en fraction et non pas en pourcentage).

On peut prendre, en première approximation, les valeurs suivantes pour le rapport entre précipitations de fréquence centennale et :  $\frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} = 0,38$  en zone tropicale.

### ❖ *Hydrogramme des crues*

C'est un graphique de variation du débit en fonction du temps durant une crue. Il sera constitué de trois tronçons linéaires construit avec les temps de base et de montée déterminé à l'aide des abaques de l'ORSTOM. Le changement de pente de la décrue s'effectue à un débit  $Q_d$  dit débit de discontinuité et dont la valeur est fixée par la relation.

$$Q_d = \frac{2 * Q_p * (T_b_{10} - \alpha_{10} * T_m_{10})}{\alpha_{10} * (T_b_{10} - 2 * T_m_{10})} \text{ Avec } Q_p : \text{ le débit de pointe en } m^3/s$$

$T_b$  : le temps de base en min

$T_m$  : le temps de montée en min

$\alpha_{10}$  : le coefficient de pointe

### ❖ *Evaluation de l'écoulement annuel*

Pour éviter un surdimensionnement inutile et coûteux, il est important de connaître les apports annuels qui vont permettre de dimensionner des réservoirs adaptés aux caractéristiques hydrologiques du bassin versant. Compte tenu de l'absence des données hydrométriques d'une part et de la situation géographique (zone tropicale sèche) d'autre part, du site d'étude, la méthode de Rodier est retenue pour la détermination des apports annuels du bassin versant de Bassini.

La méthode est basée sur le principe de bassin type pour évaluer les écoulements annuels des bassins versants appartenant au sahel africain ou à la zone tropicale sèche (Rodier, 1975).

On détermine le volume écoulé par la formule suivante.

$$Ve = Ke * P * S \quad \text{Avec} \quad \begin{array}{l} Ke : \text{le coefficient d'écoulement en \%}, \\ P : \text{la pluviométrie en mm} \\ S : \text{la superficie du bassin versant en km}^2 \end{array}$$

## III.4 Conception et dimensionnement du barrage

### III.4.1. Etude de la retenue

#### A. Courbes hauteur – volume – surface

A partir des données topographiques du site, en se basant sur les cartes et courbes de niveaux, la courbe hauteur-surface est dressée sur la base de la planimétrie des différentes courbes de niveau de la cuvette et la courbe hauteur-volume dérive du cumul des volumes partiels compris entre deux courbes de niveau successives. Le volume partiel est obtenu par la relation suivante :

$$V_{n+1} = \frac{(S_n + S_{n+1}) * h}{2}$$

Avec  $V_{n+1}$  : volume de la cuvette en  $m^3$

$S_n$  : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau n ( $m^2$ )

$S_{n+1}$  : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau n+1 ( $m^2$ )

h : dénivelée entre deux courbes de niveau n et n+1 (m)

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

## B. Evaluation des besoins en eau

### **Besoins agricoles**

L'agriculture constitue l'une des principales activités économiques de la zone du projet. Elle est pratiquée en saison sèche et pluvieuse. Nous évaluerons les besoins en eaux pour une superficie de 43ha qui sera aménagée autour du barrage. Cette évaluation se fera pour la saison sèche en fonction de la culture la plus contraignante parmi celles qu'ils cultivent déjà qui est le Riz.

Les besoins bruts seront estimés à partir des paramètres suivants :

#### ➤ **Coefficients culturaux mensuels**

Ces coefficients sont déterminés en fonction du nombre de jours et du stade de croissance de la plante obtenus dans le bulletin 33 de la FAO. La formule est la suivante :

$$K_{c\text{mois}} = \frac{K_{ci} \times N_i + K_{cj} \times N_j}{N} \quad \text{Avec : } K_{ci} = \text{Coefficient cultural pour la phase } i ;$$

$$K_{cj} = \text{Coefficient cultural pour la phase } j ;$$

$$N_i = \text{Nombre de jour dans la phase } i \text{ pour le mois considéré ;}$$

$$N_j = \text{Nombre de jour dans la phase } j \text{ pour le mois considéré ;}$$

$$N = \text{Nombre total du jour du mois (somme de } N_i \text{ et } N_j).$$

#### ➤ **Estimation de l'évapotranspiration maximale ETM**

La valeur de  $ET_o$  de la localité a été tirée du logiciel CROPWAT de la FAO.

$$ETM(\text{mm}/j) = kc * ET_o(\text{mm}/j) \quad \text{Avec } kc : \text{Le coefficient cultural}$$

$$ET_o : \text{L'évapotranspiration de référence (mm}/j)$$

### **Besoins domestiques**

Le barrage de Bassini n'est pas un ouvrage mis en place pour résoudre le problème de consommation en eau potable de la région. En effet, l'alimentation en eau potable se fait au niveau de bornes fontaines et forages disponible dans le village. L'eau du barrage permettra

donc de satisfaire une partie des besoins en eau des ménages tel quel la lessive, la vaisselle etc. Nous allons donc retenir des besoins humains de **20l/j/habitant**.

#### **Besoins pastoraux**

L'élevage constitue une source économique importante pour le village de Bassini. L'estimation des besoins en eau pour le bétail a été faite à partir de leur nombre dénombré par l'étude socioéconomique auxquels on a appliqué un taux d'accroissement, du nombre de plan d'eau disponible dans la commune et de leur consommation spécifique.

### C. Estimation des pertes

Pour concevoir et gérer correctement une retenue, il faut aussi tenir compte des diverses pertes d'eau inhérentes au site même. Il s'agit principalement des pertes par infiltration, par évaporation et également les pertes de capacité de la cuvette à la suite des dépôts solides.

#### ▪ **Infiltration dans la cuvette**

Les pertes sont souvent difficiles à quantifier, mais elles peuvent être économiquement acceptables si elles ne mettent pas en danger l'ouvrage. Les valeurs usuelles sont de 1 à 3 mm/j en moyenne.

#### ▪ **Pertes par évaporation**

Les données d'évaporation considérées sont les données recueillies au niveau de la station synoptique de Parakou. Le passage de l'évaporation Bac A à celui d'un plan d'eau libre se fait par l'équation de conversion proposée par Bernard POUYAUD suivante :

$$E_{lac}(mm/jour) = 1,664 * E_{bac}^{0,62}$$

#### ▪ **Pertes par dépôts solides**

L'eau de ruissellement sur le bassin versant entraîne avec elle des matériaux solides qu'elle arrache tout au long de son parcours. Le calcul des dépôts solides permettra de quantifier l'arrivée de ces matériaux dans la retenue. Pour l'estimation de ces dépôts il existe plusieurs formules empiriques de calcul, mais nous allons utiliser celles de CIEH-EIER (GRESILLON), de GOTTSCHALK et H. KARAMBIRI.

CIEH-EIER (GRESILLON)	$D = 700 * \left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2} * S^{-0,1}$	Avec D : dégradation spécifique annuelle en m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /an P : pluviométrie moyenne annuelle en mm
GOTTSCHALK	$D = 260 * S^{-0,1}$	S : superficie du bassin versant en km <sup>2</sup>

H. KARAMBIRI 
$$D = 137 * \left(\frac{P}{700}\right)^{-2,02} * S^{-0,05} * [0,25 + 1,13 * (h + r)^{1,15}]$$

#### D. Courbe d'exploitation de la retenue

On la trace pour vérifier l'adéquation de la capacité de la retenue avec les besoins en eau. Elle permet d'optimiser la gestion de la retenue et le choix des spéculations culturelles. Elle est établie à partir de la courbe hauteur volume de la retenue d'eau. Elle nous donne un aperçu de l'évolution de la capacité de la retenue en fonction des périodes (mois).

### III.4.2. Etudes techniques du barrage

#### A. Dimensionnement des digues de barrage

##### ✚ Hauteur de la digue (E)

La hauteur de la digue est égale à la hauteur normale de la retenue des eaux, majorée de la charge maximale au-dessus du déversoir et de la revanche. Elle se détermine à partir de l'équation ci-dessous :

$$E = H + h + R$$
 Avec H : la hauteur de la retenue (m)  
h : la charge au-dessus du déversoir (m) ; R : revanche (m)

##### ✚ Largeur en crête

La largeur en crête doit être suffisante pour autoriser la circulation d'engins pour la finition de l'ouvrage et ultérieurement pour son entretien. En pratique, la largeur en crête (lc) est supérieure à 3 mètres. Des formules empiriques, présentées ci-dessous, permettent de déterminer cette largeur :

KNAPPEN: 
$$lc = 1,65 * \sqrt{E}$$

PREECE:  $lc = 1,1 * \sqrt{E} + 1$  lc et E (hauteur digue) en mètres

Autres formules :  $lc = 3,6 * \sqrt{E} - 3$

Formule empirique :  $lc = \frac{E}{3}$

### ✚ Revanche (R)

La revanche libre (R) est une tranche comprise entre le PHE et la crête du barrage. Le calcul de la revanche tient compte de la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau et la projection de l'eau vers le haut du barrage due à la vitesse de propagation des vagues lorsque celles-ci rencontrent le barrage. Les formules que nous allons utiliser sont les suivantes :

Mallet et Pacquant :  $R = A * (h + \frac{V^2}{2*g})$  h : hauteur des vagues (m)

Avec A : coefficient de sécurité (égale à 1ou2)

Gaillard  $R = 0,75 * h + \frac{V^2}{2*g}$  V : vitesse de propagation des vagues (m/s)

### ✚ Pentés des talus

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 6 ci-dessous qui donne quelques valeurs qui devront être confirmées par une étude de stabilité :

**Tableau 6 : Fruit indicatif des talus des barrages stables**

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

Source : (LO, 2016); cours de barrage, P161

### Protection de la digue

Les talus doivent être protégés contre les dangers provoqués par les vagues de la retenue, par le ruissellement de la pluie ou par les vents. Il faut prévoir parfois une protection pour les talus avals, amont et la crête de la digue.

### Infiltration et hydraulique interne

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

$$y^2 - y_0^2 - 2 * xy_0 = 0 \text{ Avec } y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

Pour déterminer ces infiltrations nous allons aussi déterminer le débit de fuite noté  $q$  qui vaut :

$q = kr * y_0$  Avec  $y_0$  : les points d'intersection de l'axe des ordonnées avec la parabole de KOZENY.

$kr$  : La perméabilité du remblai

### Drain

Pour intercepter les infiltrations dans le massif d'un barrage on dispose habituellement dans la partie aval du massif et au contact de celui-ci avec les fondations, un drain tapis filtrant destiné à rabattre la ligne phréatique à l'intérieur du massif. Lorsque la fondation n'est pas complètement imperméable, ce drain interceptera les infiltrations à travers la fondation.

Les caractéristiques du drain sont déterminées par les formules ci-dessous :

$$e_d = 2 * \sqrt{\frac{q * ld}{kd}} \text{ Avec } ld = \frac{lf}{3,5}$$

$e_d$  : L'épaisseur du drain (m)

$ld$  : La longueur du drain (m)

$lf$  : La largeur de base de la digue (m)

$kd$  : La perméabilité du drain en m/s

## **Stabilité des talus de la digue**

La stabilité d'un barrage en terre est celle de la stabilité de son talus amont et de son talus aval sur sa fondation (**Compaoré, 1996**). L'étude de stabilité sera conduite par le cercle de glissement de BISHOP. Nous avons utilisé le logiciel **Géoslope** afin de vérifier la stabilité des pentes. Nous ferons la vérification dans le cas le plus défavorable c'est-à-dire lorsque la retenue est pleine.

### *B. Evacuateurs de crues et ouvrages annexes*

Le débit d'un évacuateur de crue est généralement contrôlé par le déversoir situé dans la partie amont de l'évacuateur. Pour qu'il en soit ainsi, les parties aval (chenal, coursier, puits, galerie, bassin de dissipation d'énergie...) doivent être conçues pour évacuer le débit du déversoir sans perturber l'écoulement de celui-ci.

Dimensionner l'évacuateur de crues consistera donc à : déterminer la longueur déversant pour une charge maximale donnée ; dimensionner le chenal ; choisir l'ouvrage de dissipation en fonction des conditions hydrauliques et calculer ses dimensions ; dimensionner les bajoyers et faire l'étude de stabilité des différents ouvrages.

## **Déversoir**

### ➤ *Longueur du seuil déversant*

La longueur du seuil a été déterminée par le laminage. 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  $X_0$  pour le laminage sur la base d'une lame d'eau de 0,80 m.

### ➤ *Etudes de stabilité du déversoir*

#### ✓ **Evaluation des forces agissant sur le déversoir**

- **Poids propre du déversoir (W)**

Le poids propre du déversoir qui est une action stabilisant, s'obtient en décomposant la section du déversoir en éléments simples (triangles, carrés), pour un poids volumique de béton de  $25 \text{ kN/m}^3$ , nous obtenons un poids propre d'ensemble de :

$$W = \gamma b * S * 1 \text{ m} \text{ Avec } \gamma b : \text{Poids volumique du béton}$$

S : Section du déversoir

- **La poussée hydrostatique externe (Pe)**

La poussée hydrostatique externe est l'action de l'eau à l'amont sur le déversoir qui tend à le pousser vers l'aval. Le déversoir est soumis à un déversement donc l'action de l'eau est donnée par :

$$P_e = \frac{1}{2} \gamma_w H(H + h) \text{ Avec } \gamma_w : \text{Poids volumique de l'eau}$$

H : hauteur du déversoir

h : hauteur de la lame d'eau sur le déversoir

L'ouvrage est aussi soumis à une action de l'eau à l'aval qui vise à stabiliser le déversoir.

- **La poussée des terres (Pt)**

C'est une action identique à la poussée hydrostatique, mais cette fois exercée par les sédiments accumulés à l'amont de l'ouvrage. La poussée de sédiments s'obtient par

$$:P_t = \frac{1}{2} \gamma h d^2 \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

Avec  $\gamma$ : Poids volumique des sédiments

$h_d$  : hauteur des sédiments

- **La pression hydrostatique interne (Pi)**

La pression hydrostatique interne est l'action de l'eau sous le déversoir qui tend à le soulever.

Le diagramme des sous pression est déterminé par la formule :

$$\gamma_w \left( H + \frac{2}{3} * (H - h) \right) \text{ Avec } \gamma_w : \text{Poids volumique de l'eau}$$

H : hauteur du déversoir

h : hauteur de la lame d'eau sur le déversoir

✓ **Stabilité externe**

Il y'a deux cas d'études à savoir : la stabilité au glissement et la stabilité au renversement.

• **Stabilité au glissement**

Les forces horizontales telles que la poussée de l'eau et des terres qui s'exercent sur le barrage tendent à le déplacer vers l'aval. L'ouvrage résiste à ces forces horizontales grâce à sa fondation qui lui procure la cohésion ( $c$ ) et le coefficient de frottement ( $\tan\phi$ ). La cohésion sera négligée car c'est une caractéristique variable et aléatoire dont la pérennité n'est pas assurée en milieu saturé. Le coefficient de glissement doit être supérieur à 1,2.

Ainsi on obtient un coefficient de sécurité de :  $F_g = \frac{\sum(W-Pi) \tan(\phi)}{\sum(Pe+Pt)}$

• **Stabilité au renversement**

Le non renversement est vérifié si la somme des moments résistants est supérieure à la somme des moments renversants. Les moments sont calculés par rapport au point inférieur à l'aval du déversoir.

$$Fr = \frac{\text{Moment } \sum(W-Pi)}{\text{Moment } \sum(Pe+Pt)} = > 1,5$$

✓ **Stabilité interne**

Il s'agira ici de vérifier la règle du tiers central (condition de non fissuration) et la contrainte limite (condition de non rupture) dans l'ouvrage.

• **Règle du tiers central**

Il faut que :  $-\frac{b}{6} \leq e \leq \frac{b}{6}$  Avec  $e$  : l'excentricité ;  $b$  : base du déversoir

• **Calcul des contraintes minimale et maximale :**

Cette condition traduit la rupture de l'ouvrage. Pour qu'elle soit satisfaite, il faut que la contrainte minimale soit positive ( $\sigma_{min} > 0$ ) et la contrainte maximale soit inférieure à la contrainte limite du béton ( $\sigma_{max} < \sigma_{lim} = 0,3 * f_{c28}$ ).

On a:  $\sigma_{min} = \left(\frac{W-Pi}{b}\right) \left(1 - \frac{6e}{b}\right)$  ;

$$\sigma_{max} = \left(\frac{W-Pi}{b}\right)\left(1 + \frac{6e}{b}\right) \quad \text{Avec } b : \text{ la base du déversoir en (m)}$$

e : l'excentricité en (m)

### Mur bajoyer

Un bajoyer est une jonction entre la digue et le déversoir. Ils sont placés de part et d'autre du déversoir. Un mur bajoyer est assimilable à un mur de soutènement en béton armé.

Nous allons dimensionner et présenter le plan de ferrailage grâce au logiciel CYPE 2014. La stabilité du mur bajoyer sera vérifiée à l'aide d'un classeur Excel.

### Chenal d'évacuation

Le chenal d'évacuation sera réalisé afin de cheminer les eaux, et sera bordé par des diguettes de protection. Le chenal d'écoulement est fait directement suite au déversoir quant au chenal de restitution il est situé immédiatement à la sortie du bassin de dissipation et permet de restituer les eaux de déversement directement dans le lit du cours d'eau à l'aval. Le chenal aura une largeur égale à la longueur du déversoir et une longueur bien déterminée afin d'avoir un parcours d'écoulement assez long. Les caractéristiques du chenal seront définies par les lois d'écoulement en surface libre.

### Bassin de dissipation

Le Bassin de dissipation a pour rôle de dissiper l'énergie de l'eau de déversement et d'éviter les affouillements dangereux à l'aval du barrage. Nous avons opté pour des bassins à ressaut, le choix du type de bassin a été fait en fonction du nombre de Froude (F) et de la vitesse de l'eau à l'entrée du bassin  $V_1$ . Nous procéderons par la résolution d'un système d'équation suivant (issues de la relation de BERNOULLI) qui permettra de déterminer  $Y_1$  et  $V_1$ .

$$\begin{cases} V_1 = \sqrt{2g \left[ 0,9 \left( H + h + \frac{V_0^2}{2g} \right) - y \right]} \\ y_1 = \frac{q}{V} \end{cases}$$

Avec q : débit spécifique (débit par longueur du seuil ou largeur du coursier) en  $m^3/s/ml$

H : la hauteur du seuil (m)

h : Charge de l'eau sur le seuil (m)

g : Accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ )

Le nombre de Froude est défini par la relation suivante :  $Fr = V1/\sqrt{gy1}$

Le nombre de Froude permet de choisir un type bassin de dissipation.

Les paramètres complémentaires concernant le ressaut et les caractéristiques des blocs chicanes peuvent être évalués par une série d'abaques et de formules.

## IV. RESULTATS D'ETUDE DE CONCEPTION DE L'OUVRAGE

### IV.1. Synthèse de l'étude de base

#### IV.1.1. Etude topographique

L'étude topographique menée sur le site du barrage de Bassini a permis de faire ressortir les courbes de niveau de la cuvette. Nous avons utilisé le fond topographique pour extraire les données topographiques nécessaires à la construction des courbes hauteur -volume et hauteur-surface. (Voir annexe III, page 78)

L'importance des données topographiques est de nous permettre d'estimer la capacité de la retenue du barrage de Bassini et aussi l'établissement du profil en long de l'axe de la digue.

#### IV.1.2. Etude géotechnique

Ces études ont été menées en vue de définir les caractéristiques du sol de fondation dans l'axe prévu pour la digue du barrage et de définir les zones d'emprunts pour les matériaux de construction viables pour la mise en œuvre des différents ouvrages : digue, déversoir, ouvrages annexes. Nous utiliserons ces données géotechniques d'une part pour définir le type de digue et d'autre part pour la définition des profondeurs d'ancrage.

#### ❖ Sols de fondation sous la digue

- Au lit mineur

Le matériau retrouvé s'apparente à une argile limoneuse :

- Gravier : 0 % ; argile : 34 % ; passant au tamis 80  $\mu\text{m}$  : 73 %
- Limite de liquidité (LL) : 33 % ; Indice de plasticité (IP) : 14 %

Dans la classification USCS, ce matériau se range dans la catégorie des « argiles peu plastiques », CL, compactes in-situ.

Le coefficient de LANE qui sera employé pour l'étude de la tranchée d'ancrage au lit mineur est :  $C = 3$ .

▪ En rive droite

Le matériau retrouvé s'apparente à une argile limoneuse :

- Gravier : 4 % ; argile : 39 % ; passant au tamis 80  $\mu\text{m}$  : 75 %
- Limite de liquidité (LL) : 34,5 % ; Indice de plasticité (IP) : 15 %

Dans la classification USCS, ce matériau se range dans la catégorie des « argiles peu plastiques », CL, compactes in-situ.

Le coefficient de LANE qui sera employé pour l'étude de la tranchée d'ancrage en rive gauche est :  $C = 2,5$ .

▪ En rive gauche

Le matériau retrouvé s'apparente à une argile limoneuse :

- Gravier : 1 % ; argile : 38 % ; passant au tamis 80  $\mu\text{m}$  : 82 %
- Limite de liquidité (LL) : 32 % ; Indice de plasticité (IP) : 14,5 %

Dans la classification USCS, ce matériau se range dans la catégorie des « argiles peu plastiques », CL, compactes in-situ.

Le coefficient de LANE qui sera employé pour l'étude de la tranchée d'ancrage en rive gauche est :  $C = 2,5$ .

❖ Les emprunts et carrières

✚ De l'argile et des latérites

Ils sont dans l'environnement immédiat du barrage. Des essais complets ont été faits sur ces matériaux et confirment leur aptitude à répondre aux sollicitations d'une digue en terre ;

Pour l'argile :

- Une superficie d'environ 4 ha sur 0,5 m;
- Un désherbage sur 20 cm par endroit sera nécessaire.

Pour la grave latérite :

- Une superficie d'environ 2 ha sur 0,5 m;
- Un désherbage sur 25 cm par endroit sera nécessaire.

#### Des carrières de gravier

Les carrières sont situées à 10 km du site du barrage à Kossou Wenra et accessible par la voie non bitumée.

#### Des carrières de moellons

Disponibles en quantités considérables à 6 km au sud du barrage, moellons latéritiques en abondance sur plusieurs hectares, mais inaccessibles en temps de pluie.

Les principales conclusions de l'étude géotechnique menée sur le site du barrage se présentent comme suit :

- pour la tranchée d'ancrage les profondeurs varient de 1 à 5 m ;
- l'argile qui sera utilisée pour le remblai du corps de la digue est située dans la cuvette et juste à l'aval en rive gauche où sera implanté le chenal est en quantité suffisante.
- les matériaux latéritiques, situés dans une carrière à environ 5 km du site du barrage, peuvent être utilisés pour le couronnement de la digue ;
- le sable qui sera utilisé provient d'une rigole qui se trouve à 2 km du site ;

Les graviers et moellons sont disponibles en grande quantité dans des carrières à environ 7 km du site du barrage.

### **IV.1.3. Etude pluviométrique**

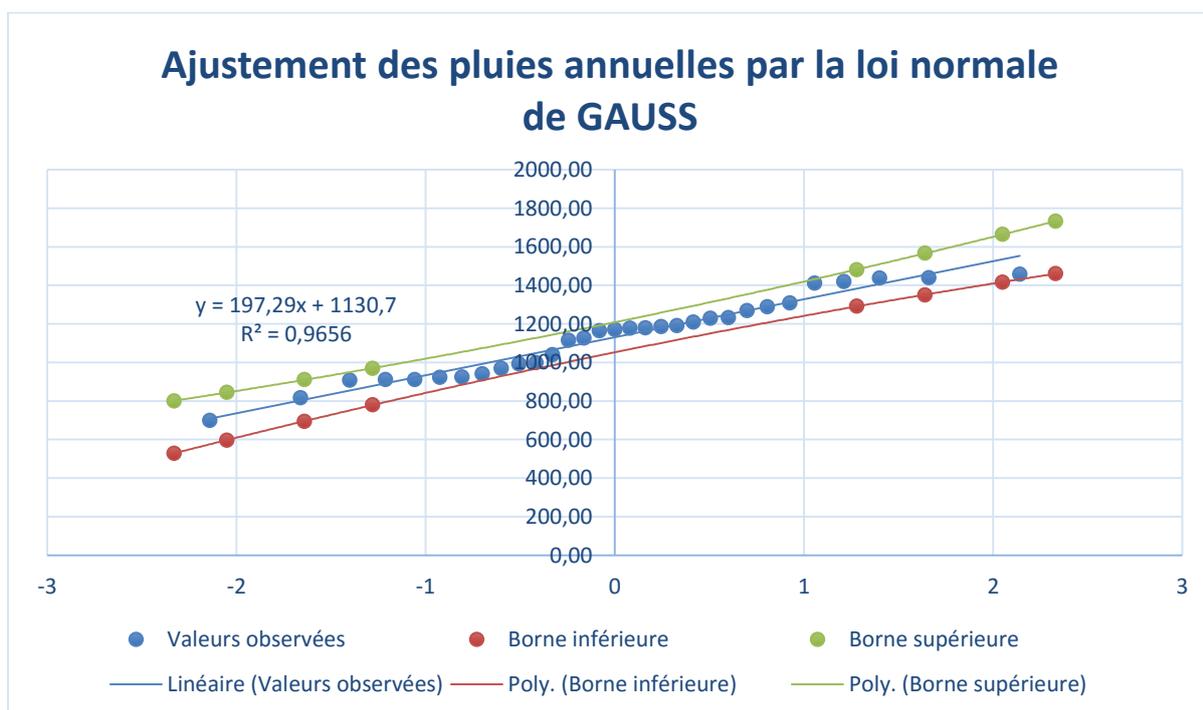
Après le traitement des données, nous avons obtenu les résultats qui se présentent comme suit :

#### **Analyse des pluies annuelles moyennes de la station pluviométrique de Tchaourou**

La synthèse de l'analyse des pluies annuelles moyennes par la loi de GAUSS nous donne les résultats suivants :

**Tableau 7 : Résultats des pluies annuelles moyennes de Tchaourou**

Désignations	Valeurs
Valeur maximale (mm)	1457,7
Valeur minimale (mm)	699
Moyenne (mm)	1130,7
Ecart type (mm)	199,9
Coefficient de variation(%)	18%
Intervalle de confiance (%)	97%



**Graphique 1 : Analyse statistique des données pluviométrique annuelle de la station de Tchaourou**

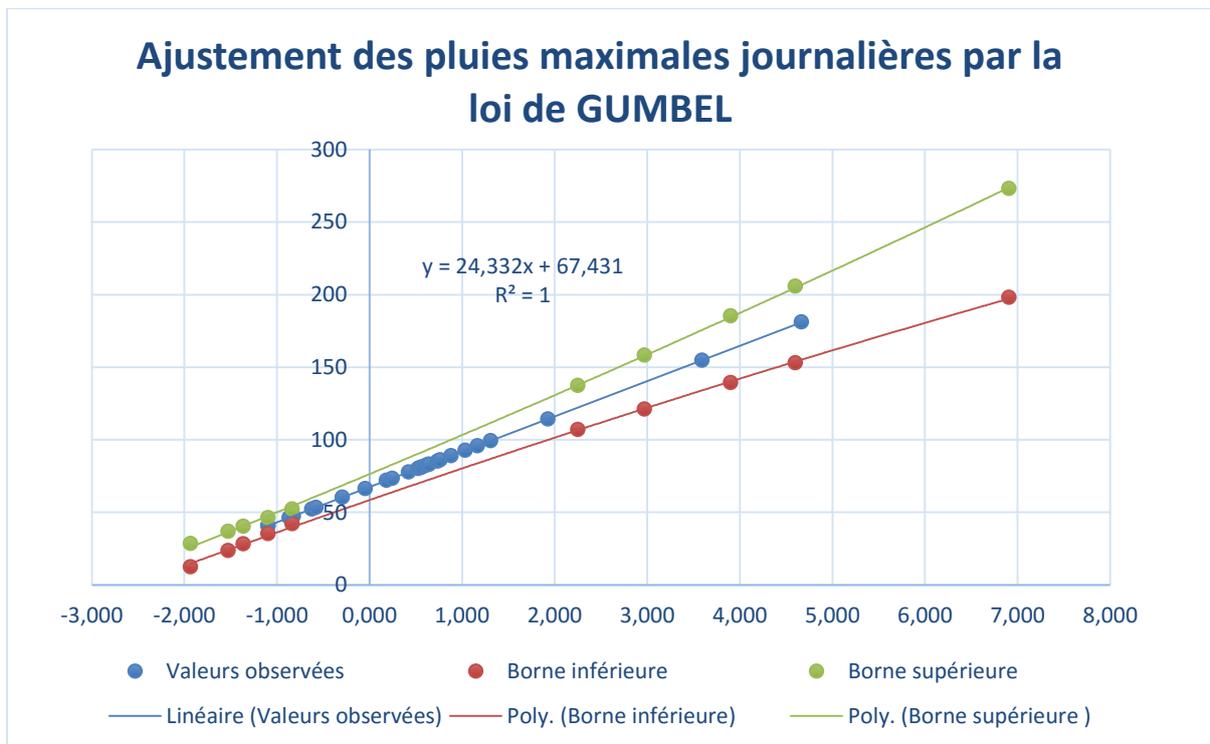
Les détails de calculs de l'analyse statistique des données pluviométrique annuelle de la station de Tchaourou se trouvent en annexe (**Annexe I, page 68**).

#### **🚧 Pluies maximales journalières de la station pluviométrique de Tchaourou**

La synthèse de l'analyse des pluies maximales journalières par la loi de GUMBEL nous donne les résultats suivants :

**Tableau 8 : Résultats de l'analyse des pluies maximale journalière de Tchaourou**

Désignations	Valeurs
Valeur maximale (mm)	181
Valeur minimale (mm)	40,8
Moyenne (mm)	81
Ecart type (mm)	31,19
Coefficient de variation	38%
Intervalle de confiance (%)	100%



**Graphique 2 : Analyse statistique des données pluviométrique journalière maximale de Tchaourou**

Les détails de calculs de l'analyse statistique des données pluviométrique journalière maximale de la station de Tchaourou se trouvent en annexe (**Annexe I, page 69**).

## ✚ Synthèse de l'analyse des pluies annuelles moyennes et maximales journalières de la station pluviométrique de Tchaourou

**Tableau 9 : 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.

### IV.2. Etude des apports liquides

#### IV.2.1. Caractéristiques du bassin versant

Les paramètres physiques du bassin versant qui alimente le barrage de Bassini tels que la superficie et le périmètre obtenus par modélisation sont respectivement de **66,221 km<sup>2</sup>** et de **53,318 km**. Il est classé parmi les petits bassins de superficies comprises entre 10 à 200 km<sup>2</sup>.

Les limites du bassin versant et le réseau hydrographique sont visibles sur la

Figure 2 ci-dessous :

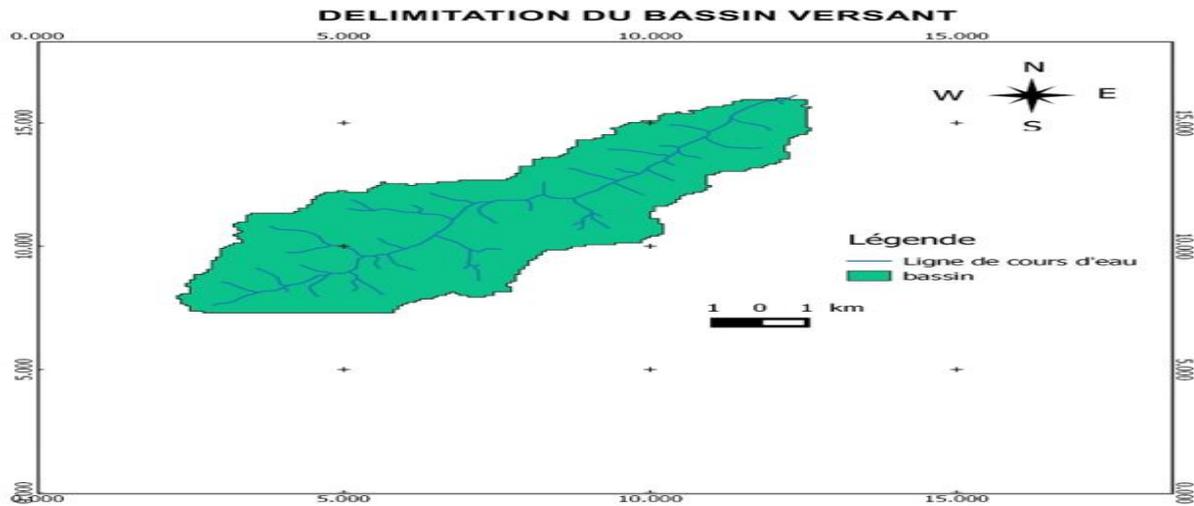
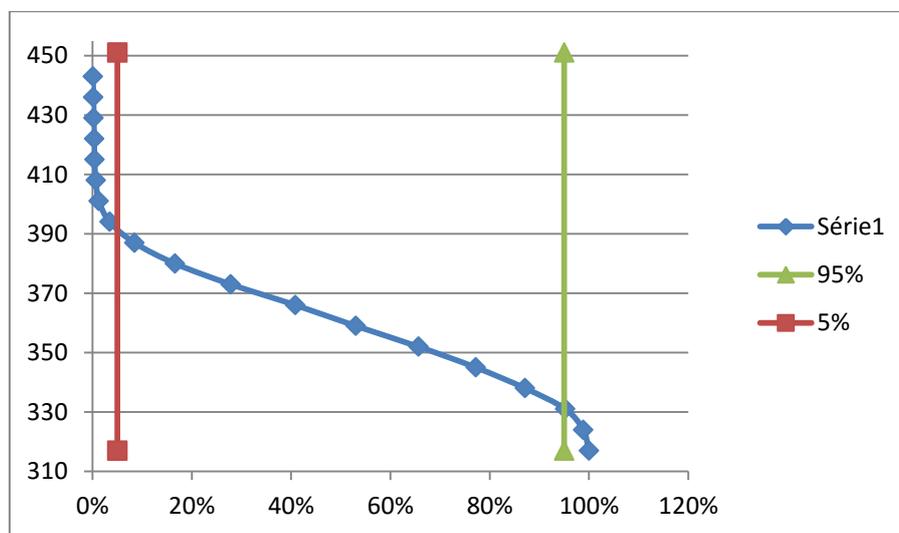


Figure 2 : Présentation du bassin versant

### 📊 Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction des altitudes.



Graphique 3 : Courbe hypsométrique du bassin versant

La courbe hypsométrique nous renseigne que  $H_{5\%} = 391 \text{ m}$  et  $H_{95\%} = 331 \text{ m}$ .

Les différentes caractéristiques du bassin versant sont résumées dans le tableau 10 suivant :

**Tableau 10 : Caractéristiques du bassin versant**

Désignation	Symbole	Valeur	Unité
Surface	S	66,221	km <sup>2</sup>
Périmètre	P	53,318	km
Côte à 5%	H5%	391	m
Côte à 95%	H95%	331	m
Dénivelée	D	60	m
Abattement	A	0,79	-
Compacité	Icomp	1,85	
Longueur du rectangle	Lrect	26,62	Km
Longueur du réseau	L	54,64	Km
Pluie moyenne décennale	Pm10	108,51	mm
Pente	Ig	2,25	m/Km
Pente transversale	It	11,49	
Pente corrigée	Igcorr	4,56	m/Km
Densité spécifique	Ds	24	m
Densité de drainage	Dd	0,83	m/km

Le bassin versant de Bassini est de forme allongé car  $I_{comp}=1,85 >1$ , et au regard des résultats des essais d'infiltration, on peut le classer dans la classe d'infiltration P3 ou RI qui désigne un bassin versant relativement imperméable. Si nous considérons la répartition générale des différents cours d'eau du bassin, nous pouvons conclure que le réseau hydrographique est dendritique.

Les détails des calculs sont reportés dans les notes de calculs en (Annexe II, page 72).

#### IV.2.2. Prédétermination des crues

Les paramètres de calcul du débit sont consignés dans le tableau 11 ci-dessous :

**Tableau 11 : Paramètre de calcul du débit de crue**

Paramètres	Temps de base Tb (mn)	Temps de monté Tm10 (mn)	Coefficient de ruissellement décennal Kr10 (%)
Valeurs	1432,10	472,60	36,40%

### ✚ Période de retour

Pour un dimensionnement allant dans le sens de la sécurité, nous utiliserons la formule de DEGOUTTE (1997).

Dans notre cas nous définissons un volume prévisionnel maximal de 2.000.000 m<sup>3</sup>, pour une hauteur de digue de 5m.

$H^2\sqrt{V} = 35$  donc supérieur à 5. La période de retour est donc de 500 ans, mais pour des raisons économiques nous retiendrons une période de retour de 100 ans pour le calcul du débit du projet.

### ✚ Débit de crue

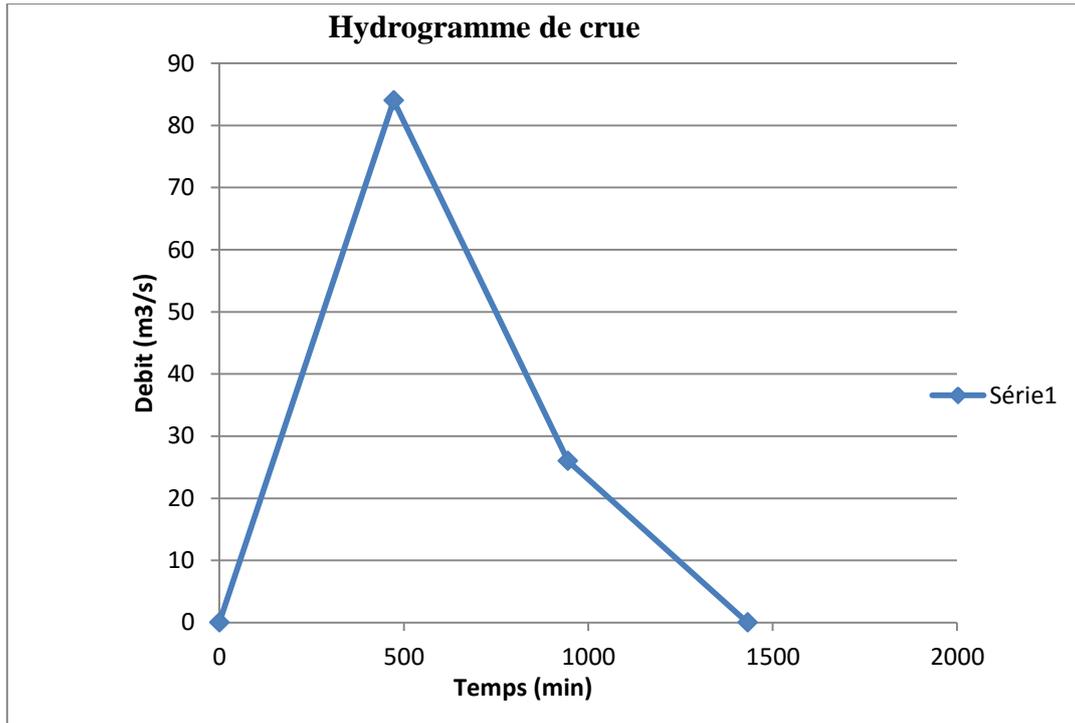
L'utilisation des méthodes d'ORSTOM et CIEH nous a permis d'obtenir des crues décennales et nous retiendrons la valeur la plus grande à laquelle nous allons appliquer la méthode du Gradex pour obtenir le débit centennal (débit du projet). Pour plus de détails voir (annexe II page 74).

**Tableau 12 : Paramètre de synthèse du débit de crue**

Méthode	CIEH	ORSTOM	Gradex		
			Q10	C	Q100
Débit en m <sup>3</sup> /s	Q10	Q10	Q10	C	Q100
	63,50	84	84	2,71	227,24

### ✚ Hydrogramme des crues

A partir du temps de base, du temps de montée et de la crue de projet, l'hydrogramme de crue a été tracé. Le tracé de l'hydrogramme de crue est donné sur le graphique 4 ci-dessous :



Graphique 4 : Hydrogramme de crue

#### ✚ Evaluation de l'écoulement annuel

Le bassin type correspondant au bassin versant de Bassini est celui de Boulsa (Burkina Faso 1960-1962), précisément Korgho dont les caractéristiques sont :  $S = 84,7 \text{ km}^2$  ;  $D_s = 21\text{m}$  (relief faible),  $D_d = 0,98 \text{ km/km}^2$  ;  $P_{\text{med}} = 900 \text{ mm}$  ;  $K_{\text{med}} = 4\text{-}5\%$ .

Les résultats obtenus sont dans le Tableau 13 suivant :

**En année moyenne : Apport =  $3\,743\,800\text{m}^3$  ( $P=1130,7 \text{ mm}$  ;  $k_e= 5\%$ ).**

Tableau 13 : Apport liquide du bassin versant

Sèche				T (ans)	Humide			
Fréquences	Pluie (mm)	$K_e$ (%)	Volume ( $\text{m}^3$ )		Volume ( $\text{m}^3$ )	$K_e$ (%)	Pluie (mm)	Fréquences
0,02	720,75	4	1 909 150	50	5 101 030	5	1540,61	0,98
0,05	802,74	4	2 126 320	20	4 829 560	5	1458,62	0,95
0,1	874,73	4	2 317 010	10	4 591 230	5	1386,64	0,9

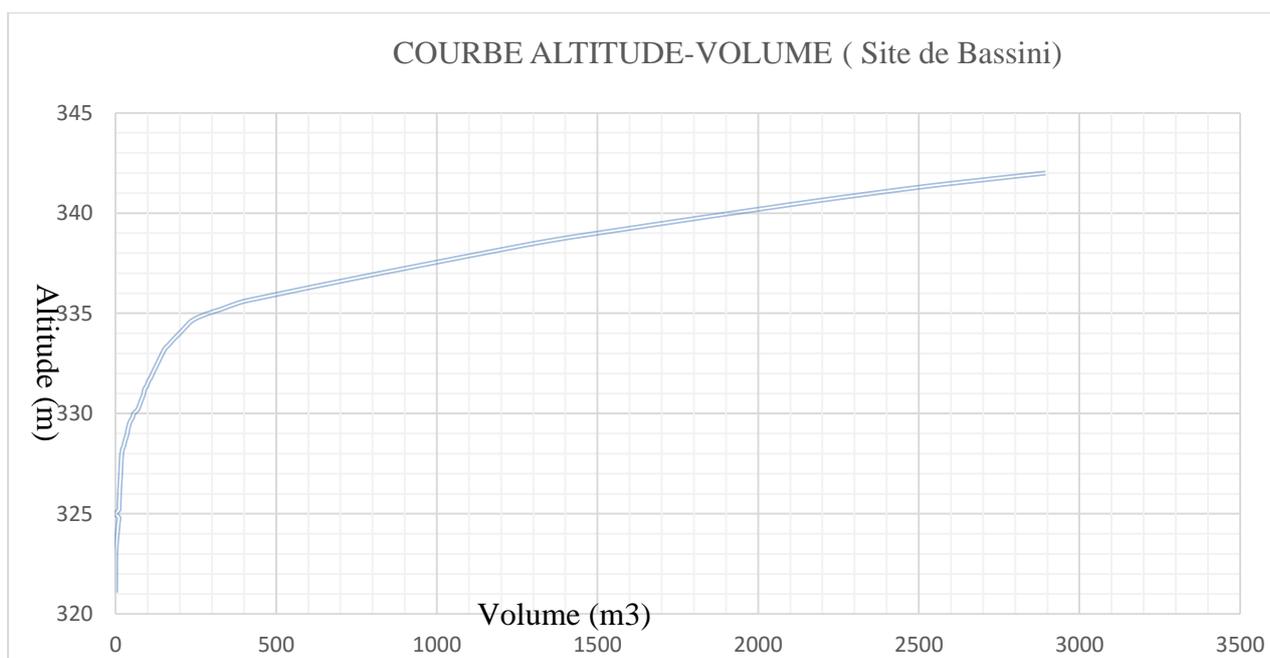
En année moyenne, le barrage peut mobiliser 3 743 800 m<sup>3</sup> et en année sèche, un volume de 2 317 010 m<sup>3</sup>.

### IV.3. Conception et dimensionnement du barrage

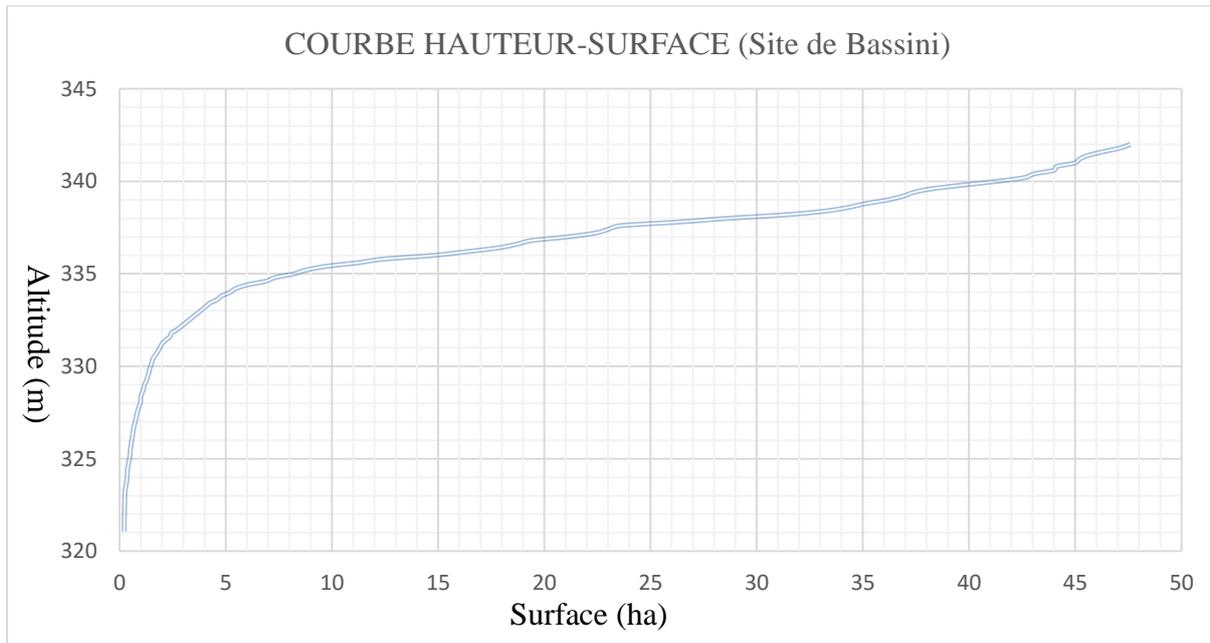
#### IV.3.1. Etude de la retenue

##### ❖ Courbes hauteur – volume – surface

Les courbes hauteur-volume et hauteur-surface ont été obtenues en estimant les surfaces moyennes.



Graphique 5 : courbe hauteur-volume



**Graphique 6 : courbe hauteur-surface**

On retiendra **340,41 m** comme côte de calage du déversoir. Ce qui correspond à un volume de **2 006 308 m<sup>3</sup>** pour une superficie au plan d'eau normale de **43ha**. Au regard des apports annuels moyens, nous sommes assuré du remplissage de la retenue. (Voir annexe III, page 78)

❖ **Evaluation des besoins**

Le barrage de Bassini est construit en vue de constituer une réserve d'eau qui puisse satisfaire les besoins agricoles, pastoraux, souvent humains du village et de ses environs. Ces derniers correspondant en général à une demande bien définie, doivent être évalués avec soins, sachant que les paramètres utilisés ne sont pas toujours aisés à obtenir, surtout en milieu rural, (voir annexe III, page 80).

Les besoins en eaux ont été évalués pour la saison sèche et sont résumés dans le Tableau 14 ci-dessous :

**Tableau 14 : Estimation des besoins**

Mois	Besoins agricoles (m <sup>3</sup> )	Besoins domestiques (m <sup>3</sup> )	Besoins pastoraux (m <sup>3</sup> )
Novembre	1036,98	670	2544,61
Décembre	2316,85	670	2544,61
Janvier	4412,25	670	2544,61
Février	4921,05	670	2544,61
Mars	4968,75	800	3000

Les besoins totaux pour la période sèche sont donc estimés à **33 314,32 m<sup>3</sup>**.

❖ Estimation des pertes

L'estimation des différentes pertes ont été évalués de la manière suivante : (voir annexe III, page 81).

➤ Perte par infiltration

Les pertes par infiltration ont été estimées à **3 mm/jrs**. En supposant que tous les mois comptent 30 jours, les infiltrations mensuelles sont de **90 mm** et celles annuelles de **1080 mm**.

➤ Pertes par évaporation

L'évaporation en fonction des mois est consignée dans le **tableau 15** ci-dessous :

**Tableau 15 : Evaporation dans la retenue**

Mois	Evaporation bac (mm)	Evaporation Lac (mm)
Janvier	102,94	27,1
Février	96,93	26,12
Mars	103,48	27,17
Avril	89,72	24,93
Mai	71,74	21,8
Juin	54,91	18,55
Juillet	46,50	16,78
Aout	41,43	15,65
Septembre	42,37	15,87
Octobre	52,63	18,08
Novembre	70,66	21,59
Décembre	93,31	25,53

➤ **Pertes par dépôts solides**

Le **Tableau 16** ci-dessous présente les volumes de sédiments dans le bassin par an.

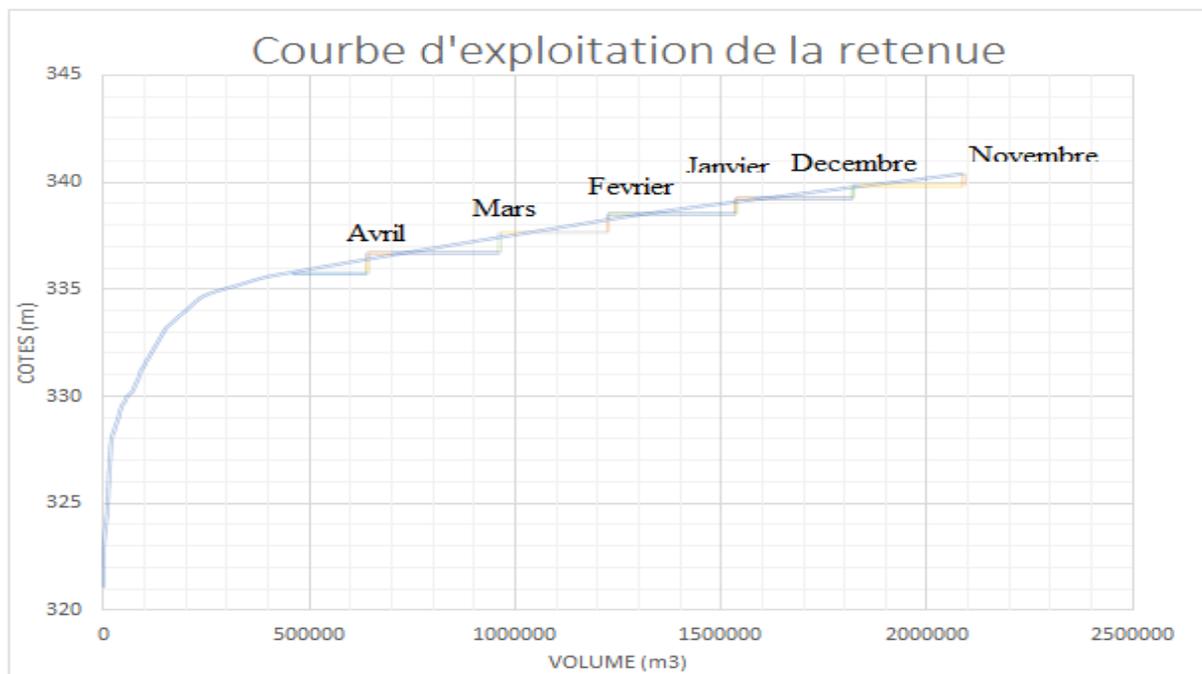
**Tableau 16 : Estimation du volume des sédiments**

Formule de GOTTSCHALK	$D = 260 * S^{-0,1}$	171	v	11320,602
Formule de GRESILLON	$D = 700 * \left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2} * S^{-0,1}$	76,45	v	5062,4873
Formule de KARAMBIRI (m <sup>3</sup> /an)	$D = 137 * \left(\frac{P}{700}\right)^{-2,02} * S^{-0,05 * (0,25 + 1,13(h+r)^{1,15})}$	52,76	v	3493,6447

Les apports solides du bassin versant contribuent à l'envasement de la cuvette du barrage. En faisant le rapport entre le volume de la retenue et le débit moyen de dépôts solides qui est de **11320,02 m<sup>3</sup>/an**, la durée d'envasement de la totalité du barrage est de plus de **30 ans** supérieurs à 10 ans. Le projet est donc acceptable. Avec une hypothèse de décroissance de 70%.

❖ **Courbe d'exploitation de la retenue**

Le graphique ci-dessous représente la courbe d'exploitation de retenue. Les détails de calcul sont reportés en annexe III, page 82.



**Figure 3 : Courbe d'exploitation de la retenue**

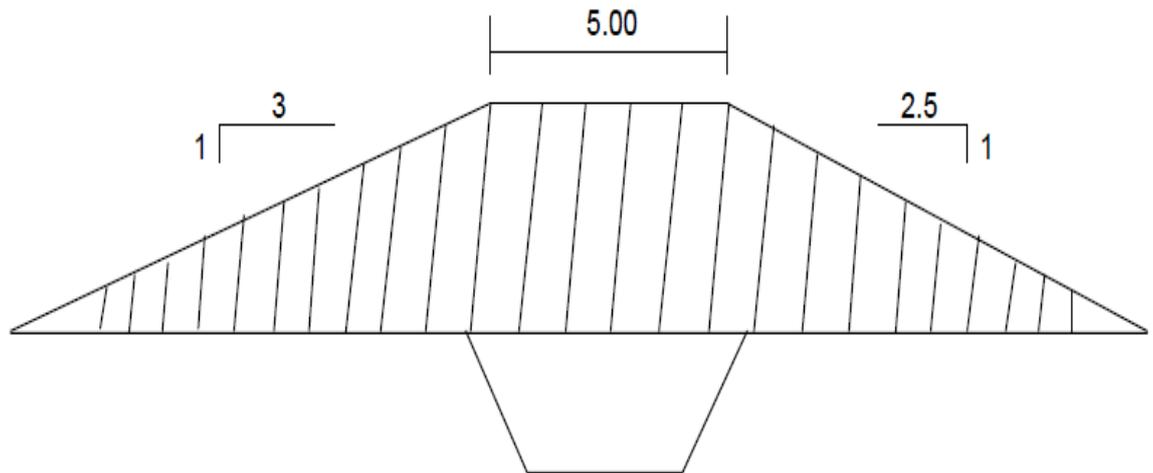
### IV.3.2. Etudes techniques du barrage

#### ❖ Dimensionnement des digues de barrage

La digue du barrage de Bassini sera homogène plus précisément en terre sablo-argileux compacté à 90% de OPM du fait du caractère étendu des matériaux utilisables. Elle aura une forme trapézoïdale en coupe transversale. (Voir annexe III, page 84)

La digue en terre aura pour fondation un ancrage en terre compactée dont la profondeur varie de 0,5m à 5m.

Le résultat de la conception de la digue est résumé dans le **tableau 17** ci-dessous :



**Figure 4 : forme de la digue du barrage**

**Tableau 17 : Caractéristique de la digue**

Paramètres	Valeurs
Longueur de la digue	905 m
Côte de calage du déversoir	340,41 m
Revanche	1 m
Côte de la crête de la digue	341,95 m
Hauteur maximale de la digue	9,15 m
Largeur en crête de la digue	5 m
Pente talus amont	3H/1V
Pente talus aval	2,5H/1V

### ✚ Protection de la digue

La protection de la digue se présente comme suit :

- Sur le talus amont, nous avons opté pour de perré sec fait de moellons latéritiques d'épaisseur 35 cm minimum reposant sur du géotextile (Bidim). Une couche de transition sera en sable, d'épaisseur 10cm.
- le talus aval (enherbé) sera protégé par une couche de matériaux latéritiques de 20cm d'épaisseur compactés à 98% de l'OPN.
- Débit de fuite interne : Un drain de pied sera aménagé au pied de talus pour la collecte des eaux pluviales et des eaux percolant à travers le remblai. Il sera rempli d'enrochements rangés à la main et de même caractéristiques géométriques que la butée de pied amont.
- la crête de la digue sera protégée par une couche de tout-venant graveleux latéritique compacté (épaisseur de 20 cm). Elle aura une pente transversale de 3% vers l'aval pour éviter les stagnations d'eau sur la crête et les désagréments liés au ruissellement sur le talus aval.

### ✚ Infiltration et hydraulique interne et drain

L'étude de l'infiltration de l'eau dans le corps de la digue a conduit aux résultats suivants :

- le point d'intersection de l'axe des ordonnées avec la parabole de KOZENY est  $y_0 = 1,20$ ;
- le débit de fuite est  $q = 1,58 * 10^{-05} (m^3/s)$  ;
- l'épaisseur du drain est de 50 cm.

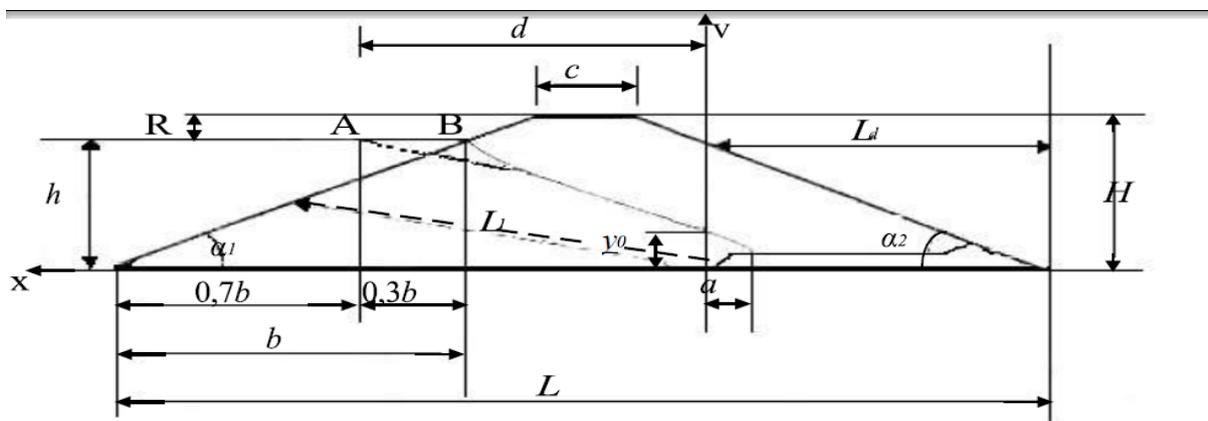


Figure 5 : Hydraulique interne

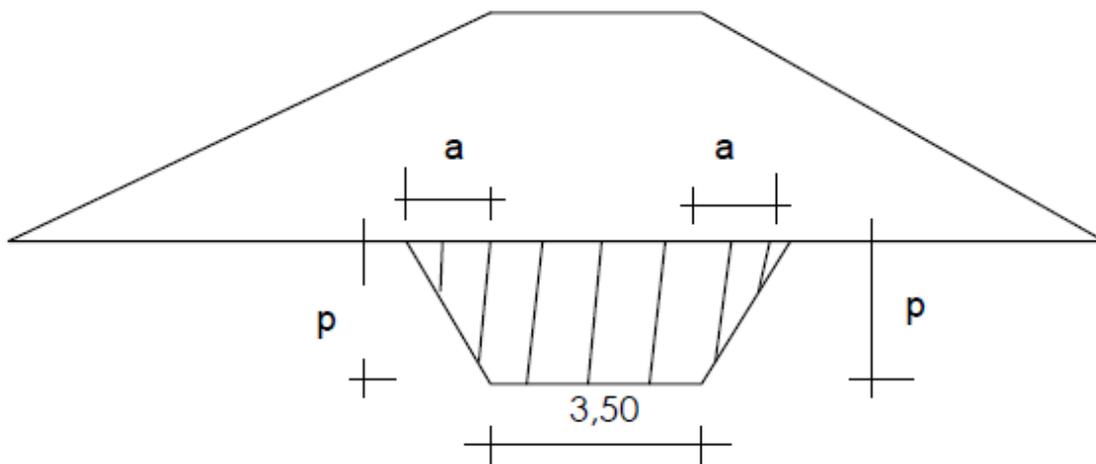
### ✚ Stabilité des talus de la digue

Nous avons utilisé le logiciel Géoslope pour vérifier la stabilité des pentes de la digue. Le résultat donne un coefficient de sécurité de 2,08 supérieurs à 1,5 lorsque la retenue se trouve aux PHE. Nous concluons donc que les talus de notre barrage sont stables.

### ✚ Conception et dimensionnement de l'ancrage de la digue

La fondation de la digue a pour rôle d'assurer une liaison hydrauliquement étanche par la mise en place d'un matériau de même caractérisation d'un taux de compactage.

Pour le dimensionnement de l'ancrage de la digue, on applique la formule 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 l'ancrage. (Voir annexe III, page 87)



**Figure 6 : Présentation de la digue avec ancrage**

La formule de LANE se présente comme suit :  $(2 * p) + \frac{3,50+2*a}{3} \geq C * H$  (voir annexe

**P** : profondeur de l'ancrage à partir du terrain naturel 5 (valeur minimale est de 0,50m) ;

**a** : débord permettant de respecter le fruit du talus du sol en place ( $H/V = 1/3$ ) ;

**H** : charge hydraulique par rapport au TN (valeur minimale est  $H=1,50m$ ) ;

**C** : coefficient de LANE pris = 3 pour les matériaux d'emprunt rencontrés.

❖ Evacuateurs de crues et ouvrages annexes

Le choix, l'emplacement et le dimensionnement de l'évacuateur sont des questions essentielles pour assurer la sécurité et la longévité d'un barrage.

Pour des raisons de topographie, de sécurité, de coût de faisabilité et d'entretien des ouvrages, l'évacuateur du barrage de Bassini sera constitué d'un déversoir en position centrale de sorte à contenir les flots d'eau au moment des crues. Pour plus de détail (voir annexe III, page 85)

✚ Déversoir

➤ **Longueur du seuil déversant**

Le laminage de crue a conduit à un déversoir long de **120 m** présentant une lame d'eau de 1 m. Le débit laminé en fin de simulation est de **209,06m<sup>3</sup>/s**. (voir annexe III, page 85)

Le déversoir est de type poids. En aval du déversoir et du bassin de dissipation, des digues de protection construite le long des murs bajoyers afin d'éviter le retour des eaux du déversoir latéral au lit naturel du cours d'eau barré.

**Tableau 18 : Caractéristique du déversoir**

Paramètres	Valeurs
Longueur du déversoir	120 m
Côte de calage du déversoir	340,41 m
Largeur en crête	1 m
Parement aval	Inclinaison à 45°
Parement amont	Vertical

➤ **Etudes de stabilité du déversoir**

L'étude de stabilité du déversoir consiste à vérifier s'il résiste aux différentes forces agissant sur lui. En effet, le déversoir doit résister par son poids aux actions qu'il subit pour assurer sa stabilité externe (glissement et renversement) et interne (la règle du tiers central et la contrainte limite du béton). Les calculs de stabilité seront conduits comme dans le cas d'un barrage poids.

Le tableau 18 suivant présente les résultats de la stabilité du déversoir. Nous allons effectuer la vérification aux PHE.

**Tableau 19 : Vérification de la stabilité du déversoir**

Stabilité	Paramètres	Valeurs	Vérification
Glissement	Coefficient de sécurité $F_g$	1,8	$F_g > 1,2$
Renversement	Coefficient de sécurité $F_r$	2,65 m	$F_r > 1,5$
Règle du tiers central	Excentricité $e$	- 0,09 m	$b/6 = 1,50m$ $-b/6 \leq e \leq b/6$
Contraintes limite du béton	Contrainte maximale $\sigma_{Max}$	110,06 kPa	$\sigma_{Max} < f_{28}$

Le déversoir du barrage de Bassini est stable au glissement et au renversement. (Voir annexe III, page 88)

### ✚ Mur bajoyer

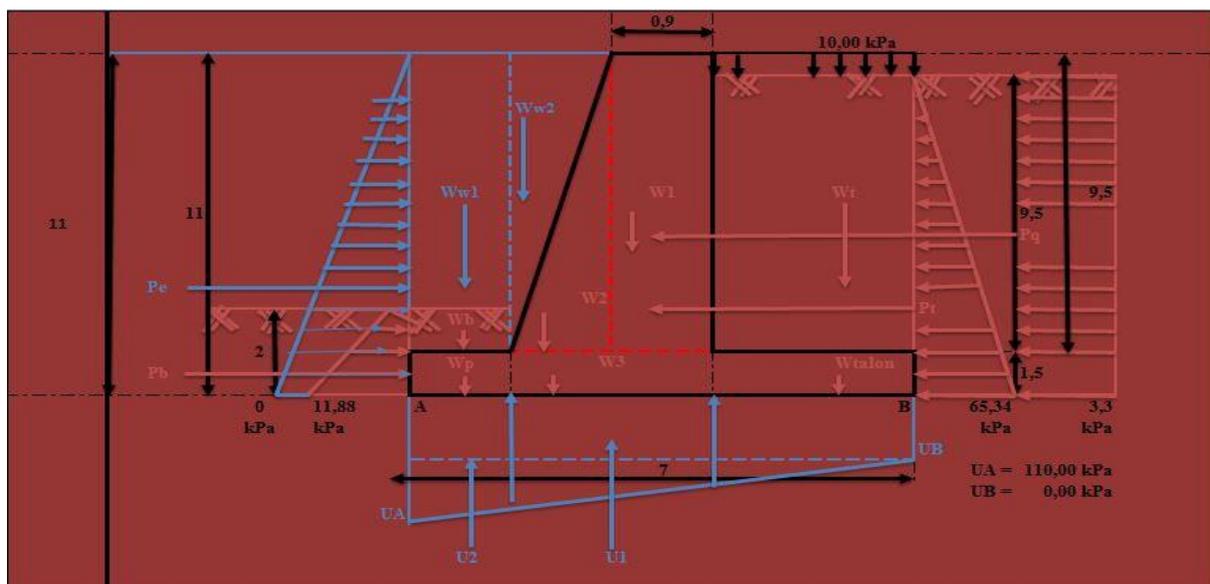
#### ➤ Dimensionnement du mur bajoyer

Le mur bajoyer est la jonction entre la digue et le déversoir. Ce mur est destiné à limiter latéralement un écoulement sur le parement du barrage. Il est placé de part et d'autre du déversoir. Le mur bajoyer est aussi assimilable à un mur de soutènement en béton armé.

Le dimensionnement des murs bajoyers a été fait sur Excel et les caractéristiques géométriques du mur sont dans le **tableau 21** ci-dessous :

Nous avons :

- **Faire un pré-dimensionnement afin de trouver les caractéristiques géométriques du mur bajoyer ainsi que les forces qui s'exercent sur le mur.**



**Figure 7 : Caractéristiques géométriques et actions exercées sur le mur bajoyer**

- **Etudié la 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 **1,37** et de **2,09**.

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 conclut alors que le mur bajoyer est stable.

- **Déterminé les sections d'acier du mur bajoyer**

Après avoir déterminé les différentes forces qui s'exerceront sur le mur et vérifié la stabilité du mur bajoyer, nous passons au ferrailage du mur bajoyer.

Le ferrailage des murs bajoyers se présente comme suit :

**Tableau 20 : Section d'acier du mur bajoyer**

	MUR CENTRAL			MUR CENTRAL			MUR AVAL		
	Moment (t.m)	Acier prcp (cm <sup>2</sup> )	Aciers rprt (cm <sup>2</sup> )	Moment (t.m)	Acier prcp (cm <sup>2</sup> )	Aciers rprt (cm <sup>2</sup> )	Moment (t.m)	Acier prcp (cm <sup>2</sup> )	Aciers rprt (cm <sup>2</sup> )
Baj rive gauche	0.05	0.02	0.01	72	53.43	13.36	3.44	2.55	0.64
Baj rive droite	0.05	0.02	0.01	45.25	33.58	8.40	0.71	0.55	0.15

- **Faire le plan d'exécution du mur (voir annexe IV)**

**Tableau 21 : Caractéristique du mur bajoyer**

Paramètres	Valeurs
Hauteur du mur	11 m
Largeur de la semelle	7 m
Hauteur de la semelle	1,5 m
Charge d'exploitation	10 KN/m <sup>2</sup>

L'ensemble des vérifications du mur bajoyer ainsi que le ferrailage sont résumés en (Annexe III, page 89)

### **Chenal d'évacuation**

Le rôle du chenal est de restituer la crue laminée à l'aval du barrage. Sa pente a été estimée à 1‰ et le fruit de berge de 0,40. Avec un coefficient de Manning Strickler de 75, une largeur considérée égale à celle du déversoir soit 120 m, un débit égal au débit laminé, la profondeur d'eau normale calculée est de 0,86 m que nous avons estimé à 0,90m. Pour la protection des berges on prévoit des diguettes de protection placées de part et d'autre du chenal. Pour plus de détails voir (Annexe III, page 90)

### **Bassin de dissipation**

Le bassin de dissipation a pour rôle de casser l'énergie de l'eau pour éviter son action érosive. Il est appelé à contenir le ressaut susceptible de se former à l'aval. Son calcul consiste à lui donner une longueur supérieure à la longueur du ressaut hydraulique à l'aval. Voir (Annexe III, page 90).

Le nombre de Froude calculé est de 4,77 étant supérieur à 4,5 et la vitesse inférieure à 15 m/s, nous allons prendre un bassin de type II constitué de chicanes et de blocs de chutes. Les dimensions ci-dessous sont retenues pour le bassin de dissipation :

- profondeur à l'entrée du ressaut : 0,2 m ;
- profondeur à la sortie du ressaut : 1,25 m ;
- longueur du bassin : 8 m.
- Type ; Bassin de type II (blocs de chute d'eau ; blocs chicanes et seuil terminal surélevé)
- Position par rapport au TN ; enfoncement de 1,2m de profondeur minimum.
- Distance blocs de chute et blocs de chicanes = 1m.

Position au niveau du profil en long ; position centrale.

### **Coursier**

Les détails concernant le coursier se présente comme suit :

- Enrochement en moellons d'épaisseur = 0,50m
- Longueur des digues de protection = 150m.
- Largeur en crête des digues de protection = 3m
- Pente du coursier = 11‰

### **Ouvrage de prise**

En ce qui concerne l'ouvrage de prise, nous avons opté pour un ouvrage qui servira pour l'irrigation du périmètre à l'aval du barrage. Avec une dérivation qui aboutira à des abreuvoirs aménagés et clôturé pour le bétail. Dans le souci d'avoir une charge d'eau suffisante au-dessus de la prise, la cote de prise a été fixée à **335,05 m**. Avec tous les talus protégés en perrés maçonnés.

Implanté en rive droite, destiné à l'irrigation du périmètre prévu. Il est constitué de :

- Un bac de réception en amont en BA protégé par des grilles.
- Un bac de réception aval de réception en BA, composé de Vanne de diamètre 500 mm Aussi de 02 échelles de descente en acier et un mur -impact
- Une crépine
- Une conduite en fonte de diamètre 500mm et de longueur de plus de 120m, traversant toute la digue.

## **V. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET ESTIMATION DU COÛT DU PROJET**

### **V.1. Notice d'impact environnemental**

Il s'agira pour nous de faire la synthèse des d'impact environnementale et sociale Simplifiée du barrage de Bassini.

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.

Les travaux de construction du barrage de Bassini auront des impacts aussi bien positifs que négatifs sur les milieux biophysiques et socio-économiques.

Le plan de gestion environnementale contient des mesures d'atténuation formulées pour éviter ou diminuer les impacts négatifs et renforcer les impacts positifs.

Cette étude consiste à analyser le projet afin d'identifier et de proposer des mesures d'atténuation des impacts du projet sur l'environnement. (Voir annexe IV, page 92)

Identification des Impacts du projet sur l'environnement

Phases	Construction		Phases
	Source des impacts		
Ecoulement des cours d' eau	Amene et repli des matériaux de construction et déblaisage	Déblaisage et terrassement	Eau
Remblai et déblai	Extraction de matériaux de la zone d'emprunt	Aménagements de la partie aval du barrage	Qualité des eaux souterraine
Production des déchets solides et liquides	Présence des étrangers	Présence de la main d'œuvre	Forme du relief
			Faune et Flore
			Espèces menacées ou protégées
			Climat sonore (bruits et vibrations)
			Climat et Paysage
			Zones forestières
			Activités pastorales
			Mode de vie
			Habitations
			Tourisme
			Eduction, formation et suivie
			Emplois

V.2. Coût estimatif du projet

Le budget d'un projet est un élément important dans l'étude d'un projet puisque les résultats économiques auront un impact sur la réalisation où sur la conception du projet. L'estimation du Coût nous donne une indication des Coûtes comptés en fonction des quelques informations dont on dispose sur le projet. Le coût du projet est effectué par la méthode de déboursé sec qui prend en compte les dépenses affectées à un ouvrage élémentaire, comprenant le cout de la main d'œuvre, des matériaux et du matériel en fonction des coûts appliqués sur le territoire du Bénin et se présente à hauteur de **1 701 193 439 (un milliard**

**sept cent un millions cent quatre-vingt-treize mille quatre cents trente-neuf mille) F CFA.** Le devis détaillé est en annexe (Voir annexe IV, page 97).

Le cout du projet ainsi établi avec toutes ses composantes, nous pouvons donc affirmer que nous sommes dans l'enveloppe dont dispose le maître d'ouvrage pour la réalisation du barrage de Bassini. De plus, avec notre conception nous avons une marge bénéficiaire de plus de 300 millions de francs CFA par rapport à l'enveloppe dont dispose le maître d'ouvrage. Cette somme pourra servir d'entretien de l'ouvrage pendant plus de 3ans, qui sera assuré par les populations bénéficiaires.

La marge bénéficiaire dont l'entreprise pourra disposer si l'ensemble des travaux se déroule sans grand incident est évalué à hauteur de **109 046 211 (cent neuf millions quarante-six mille deux cent onze mille) FCFA.**

<b>DESIGNATION DES OUVRAGES</b>	<b>PRIX TOTAL</b>
<b>FRAIS GENERAUX</b>	<b>60 000 000</b>
<b>TAVAUX DE DIGUE EN TERRE</b>	<b>511 841 185</b>
<b>EVACUATEUR DE CRUE</b>	<b>504 677 700</b>
<b>OUVRAGES DE PRISE D'EAU</b>	<b>53 347 150</b>
<b>CHENAL D'EVACUATION</b>	<b>299 493 320</b>
<b>OUVRAGES DE FOND DE VIDANGE DE LA RETENUE D'</b>	<b>12 330 000</b>
<b>TOTAL HORS TAXE</b>	<b>1 441 689 355</b>
<b>TVA 18%</b>	<b>259 504 083,9</b>
<b>MONTANT TOTAL TTC</b>	<b>1 701 193 439</b>

## CONCLUSIONS

Le projet de construction de barrage et aménagement, initié par l'État Béninois, à travers l'Autorité du Bassin du Niger, devrait permettre, à terme, l'essor socio-économique pour l'ensemble de la commune de Kerou. De l'étude, que nous venons de présenter dans les détails, l'ouvrage mobilisera plus de 2 millions de mètres cube d'eau, pour un cout de projet estimé à 1 701 193 439 FCFA et offrira ainsi aux populations locales une source pérenne en eau qui devrait faciliter les activités actuelles et en susciter de nouvelles. Il appartient aux bénéficiaires, en grande partie tout au moins, de s'approprier l'ouvrage et de s'impliquer dans sa gestion, afin de rentabiliser au mieux le potentiel qu'il représente.

Cependant, le présent projet n'est qu'une étape. La pleine exploitation de la ressource nécessite de passer à une seconde phase, qui la mise en œuvre du périmètre. Dans le corps de l'étude, nous avons abordé la question en définissant le potentiel exploitables en terres qui est de 43 hectares à l'aval, ainsi que les solutions possibles à partir de la retenue : riziculture en semi-pluvial. Ces activités cadrent avec les habitudes des populations locales, ce qui devrait faciliter la mise en œuvre et l'effectivité du périmètre aménagé. Un avant-projet détaillé devra être mené à ce sujet afin de statuer sur la conception de l'aménagement et proposer un dimensionnement final pour le réseau d'irrigation.

A terme, le présent projet nous a non seulement permis de mettre en application l'ensemble de nos acquis et compétences en sciences et techniques de l'ingénieur, mais aussi et surtout de nous frotter à un cas tangible : une expérience riche que nous entendons mettre au service de nos populations.

## RECOMMANDATIONS – PERSPECTIVES

Le présent projet inscrit dans le cadre de la mise en œuvre d'un « Programme de Développement d'Infrastructure Socio-économiques et de la Sécurité Alimentaire dans le Bassin du Niger » (PDISSA) avec la collaboration de la BOAD et de l'ABN. Vu l'ampleur et le coût de ce projet, il se veut donc d'être rentable afin de répondre aux préoccupations de la commune en ce qui concerne l'eau.

Ainsi donc, ce projet ne doit pas simplement se limiter à la simple exécution. D'où l'importance de la part des parties prenantes de collaborer ensemble afin de mener des actions ciblées pour la survie du barrage. Le barrage de Bassini se range dans la catégorie des petits barrages ; il nécessite donc un suivi léger, mais important.

De plus, les bénéficiaires du barrage pourront constituer un comité de surveillance, de suivi et d'entretien du barrage axé sur certaines grandes lignes :

- Suivi de la limnimétrie de la retenue ;
- Inspection régulière du barrage afin de détecter toute anomalie concernant bien aussi les dégradations ;
- Veiller au respect des consignes sur le barrage ;
- Organiser des séances d'entretien collectif et zoné de l'ouvrage

Quant aux autorités communales avec l'appui de chefs communautaires, ils leurs revient de s'investir dans la gestion de l'ouvrage à titre de bon exemple. De ce fait ils pourront organiser et être à la tête de tous ce qui concerne la gestion du barrage de Bassini.

Enfin, il convient de remarquer que ce type d'ouvrage manque cruellement à nos populations, car leurs réalisations ne s'effectuent que des années après que le besoin ne se fasse ressentir. Il est donc de la responsabilité de nos Autorités d'anticiper sur ce type de projet pour le bien de nos populations.

## BIBLIOGRAPHIE

- Comité français des grands barrages, Gérard Degoutte, du génie rural Centre national du machinisme agricole des eaux et des forêts (France), et des eaux et des forêts (France) École nationale du génie rural. « Petits barrages recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi ». Cemagref éd. ; Engref coéd., 2002.
- Comité interafricain d'études hydrauliques, ORSTOM, et Laboratoire commun de télédétection. *Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*. Rome : FAO, 1996.
- Durand, Jean-Maurice, Paul Royet, Patrice Mériaux, Upper Volta) Ecole inter-états d'ingénieurs de l'équipement rural (Ouagadougou, et du génie rural Centre national du machinisme agricole des eaux et des forêts (France). *Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale*. Ouagadougou, Burkina Faso] ; [Antony, France : EIER ; Cemagref, 1999.
- DURAND J.M. « Petits barrages et digues deversantes », 1995.
- INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE ET DE L'ANALYSE ECONOMIQUE. « Cahier des villages et quartiers de ville de Kerou », 2016.
- J. RODIER, et C. AUVRAY. « Estimation des débits de crue décennales ». ORSTOM, 1989.
- M.L. COMPAORE. « Cours de Barrages », 1996.
- Mongeau, Pierre. *Réaliser son mémoire ou sa thèse : côté jeans & côté tenue de soirée*. Québec : Presses de l'Université du Québec, 2008.
- 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*.
- LO(2016), *Cours de barrage 1* ;

KARAMBIRI, GUEYE, *Cours de barrage*

## **ANNEXES**

## ANNEXE I : ETUDE PLUVIOMETRIQUE

L'analyse des pluies a été faite à partir des données pluviométriques recueillies à la station de Tchaourou.

### 1. Les pluies annuelles

L'ajustement des pluies annuelles moyennes a été fait par la loi de GAUSS. Les tableaux suivants présentent les résultats de l'analyse.

**Tableau 22 : Analyse des pluies de séries annuelles**

Année	Total	Ordre Croissant	Rang	Fréquence	u
1980	1289,39	699,00	1	0,016	-2,14119812
1985	1039,80	816,60	2	0,048	-1,66069761
1986	699,00	907,70	3	0,081	-1,40074506
1987	911,68	911,68	4	0,113	-1,21123213
1988	1420,20	911,90	5	0,145	-1,05741423
1989	1177,92	922,30	6	0,177	-0,92524456
1990	907,70	924,20	7	0,210	-0,80754104
1991	1457,70	940,73	8	0,242	-0,70009021
1992	816,60	969,49	9	0,274	-0,60017878
1993	922,30	992,41	10	0,306	-0,50593365
1994	1232,00	999,40	11	0,339	-0,41598722
1995	1269,20	1039,80	12	0,371	-0,32929135
1996	999,40	1114,30	13	0,403	-0,24500622
1997	1190,30	1127,05	14	0,435	-0,16242937
1998	1179,12	1164,40	15	0,468	-0,08094729
1999	940,73	1171,00	16	0,500	0
2000	1114,30	1177,92	17	0,532	0,08094729
2001	924,20	1179,12	18	0,565	0,16242937
2002	1127,05	1186,30	19	0,597	0,24500622
2003	1438,00	1190,30	20	0,629	0,32929135
2004	1164,40	1209,70	21	0,661	0,41598722
2005	911,90	1229,00	22	0,694	0,50593365

2006	1171,00	1232,00	23	0,726	0,60017878
2007	992,41	1269,20	24	0,758	0,70009021
2008	1308,90	1289,39	25	0,790	0,80754104
2009	1209,70	1308,90	26	0,823	0,92524456
2010	1411,28	1411,28	27	0,855	1,05741423
2012	1229,00	1420,20	28	0,887	1,21123213
2013	969,49	1438,00	29	0,919	1,40074506
2014	1440,16	1440,16	30	0,952	1,66069761
2016	1186,30	1457,70	31	0,984	2,14119812

**Tableau 23 : Résultats de l'ajustement des pluies de séries annuelles**

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

## 2. Les pluies journalières maximales

L'ajustement des pluies journalières maximales a été faite par la loi de GUMBEL. Les tableaux suivants présentent les résultats de l'analyse.

### Pluies maximales journalières de la station pluviométrique de Tchaourou

La synthèse de l'analyse des pluies maximales journalières par la loi de GUMBEL nous donne les résultats suivants :

**Tableau 24 : Analyse des séries des pluies maximales journalières**

<b>Année</b>	<b>valeurs observées</b>	<b>ordre croissant</b>	<b>Rang</b>	<b>variable réduite (u)</b>	<b>Fonction de répartition F(x)</b>
1980	86	40,8	1	-1,094	0,05
1985	81,1	40,8	2	-1,094	0,05
1986	40,8	46,3	3	-0,868	0,09
1987	52,3	47,4	4	-0,823	0,10
1990	81,1	52,3	5	-0,622	0,16
1991	88,9	53,4	6	-0,577	0,17
1992	71,9	60,3	7	-0,293	0,26
1993	46,3	66,3	8	-0,046	0,35
1994	73,4	71,9	9	0,184	0,44
1995	60,3	73,4	10	0,245	0,46
1996	40,8	77,7	11	0,422	0,52
1997	47,4	80,2	12	0,525	0,55
2000	85,3	80,6	13	0,541	0,56
2001	114,3	81,1	14	0,562	0,57
2002	53,4	81,1	15	0,562	0,57
2003	154,8	82,1	16	0,603	0,58
2004	82,9	82,9	17	0,636	0,59
2005	77,7	83,1	18	0,644	0,59
2006	83,1	85,3	19	0,734	0,62
2007	80,2	86	20	0,763	0,63
2008	82,1	88,9	21	0,882	0,66
2009	95,8	92,6	22	1,034	0,70
2010	66,3	95,8	23	1,166	0,73
2012	92,6	99,3	24	1,310	0,76
2013	80,6	114,3	25	1,926	0,86
2014	181	154,8	26	3,591	0,97
2016	99,3	181	27	4,668	0,99

**Tableau 25 : Résultats de l'ajustement des séries de pluies maximales journalières**

<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

## ANNEXE II : ETUDE DES APPORTS LIQUIDES

### 1. Caractéristiques du bassin versant

#### ✚ Surface du bassin versant

Notre bassin versant a une superficie de **66.221 km<sup>2</sup>**. ( $10 \leq S (km^2) \leq 200$ ), on peut donc classer notre bassin versant parmi **les petits bassins**.

#### ✚ Périmètre du bassin versant

Le périmètre du bassin versant est de **53.318 km**.

#### ✚ Forme du bassin versant

Pour déterminer la forme du bassin versant, on utilisera, le coefficient de compacité de GRAVELIUS du bassin calculé est le suivant :  $I_{comp} = 0.282 * P * S^{-0.5} = 1.85$

On a  $K_g > 1$ , la forme du **bassin versant est donc allongé** qui est favorable pour les faibles débits de pointe de crue.

#### ✚ Longueur du rectangle équivalent

La longueur du rectangle équivalent obtenue est :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4} = L = \frac{53.318 + \sqrt{53.318^2 - 16 * 66.221}}{4} = 26.62 \text{ km}$$

#### ✚ Largeur du rectangle équivalent

$$\text{Largeur de rectangle équivalent : } L_{eq} = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - S} = 2.77 \text{ km}$$

#### ✚ Courbe hypsométrique

L'exploitation de la courbe hypsométrique les altitudes  $H_{5\%} = 391\text{m}$  et  $H_{95\%} = 331\text{m}$

#### ✚ Indice de pente globale

L'Indice global de pente est calculé suivant :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = \frac{391 - 331}{26.62} = 2.25 \text{ m/km}$$

### 🚧 Indice globale de pente corrigé

La formule de l'indice globale de pente corrigé est donnée par la formule suivante :

$$I_{gcor} = \frac{(n-1) \cdot I_g + I_t}{n}$$

L'indice global de pente dépend de deux autres paramètres inconnus que sont :

- Pente transversale moyenne du bassin :  $I_t = 1.69\text{m/km}$

Il existe une différence d'au moins 20% entre la valeur  $I_g$  et celle de  $I_t$ . Il est nécessaire de déterminer l'indice global de pente corrigé.

$n$  est un coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent avec : **4 pour**

$$25\text{km} < L < 50\text{km} \rightarrow n = 4$$

$$I_{gcor} = \frac{(n-1) \cdot I_g + I_t}{n} = \frac{(n-1) \cdot 2.25 + 1.69}{n} = 4.56\text{m/km}$$

( $I_{gcor} < 0.5\%$  Le bassin est de type R2 (pente faible).

### 🚧 Longueur totale du réseau Hydrographique

La longueur totale du réseau hydrographique est : 54.64 km

### 🚧 La densité de drainage

$$\text{Densité de drainage } Dd = \frac{\sum Li}{S} = \frac{54.64}{66.221} = 0.83\text{m/km}$$

### 🚧 La dénivelée spécifique

Dénivelée spécifique : suit  $Ds = I_g * \sqrt{S} = 24.006 \text{ m} < 50 \text{ m}$  le relief du bassin est faible.

### 🚧 Infiltrabilité des sols

Au regard des résultats des essais d'infiltrations dans la cuvette et des informations disponibles, on a un sol de classe RI (relativement imperméable) car on rencontre des sols argilo-sableux.

## 2. Prédétermination des crues

### ✚ Coefficient d'abattement

La pluviométrie annuelle calculée est de 1130,68 mm.

Le coefficient d'abattement est :

$$A = 1 - \frac{(161 - 0.042 * P_{an})}{1000} * \log S = 1 - \frac{161 - 0.042 * 1130,68}{1000} \log(66.221) = 0.79$$

La précipitation journalière décennale P10 est égale 137,36 mm à l'issue de l'ajustement de Gumbel. La pluviométrie moyenne dans le bassin est donnée par

$$P_{m10} = A * P_{10} = 0.79 * 137,36 = 108.51 \text{ mm.}$$

### ✚ Temps de base (Tb)

Le temps de base est donné par :  $Tb = a * S^{0,36} + b$

Le tableau 26 ci-dessous présente les résultats issus de la détermination de Tb

Tableau 26 : Détermination des Tb

	a	b	Tb(mn)	Tb(h)
Ig=7	163	142	879.47	14.66
Ig=3	325	315	1785.42	29.76
Ig=3,077			1432.10	23.87

### ✚ Temps de montée (Tm10)

Le temps de montée représente le tiers du temps de base :

$$T_{m10} = 0,33 * T_{b10} = 0,33 * 1432.10 = 472.60 \text{ mn ou } 7.88 \text{ h}$$

### ✚ Coefficient de ruissèlement décennal (Kr10)

#### ➤ Estimation de Kr10 par la méthode ORSTOM

Les résultats de détermination de Kr10 présentés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable**. Ci-dessous ont été obtenus kr10 à partir de la formule suivante :  $Kr_{70}$  ou  $Kr_{100} =$

$$\frac{a}{(S+b)} + c$$

**Tableau 27 : Détermination de kr10 par la méthode ORSTROM**

	a	b	c	Kr70(%)	Kr100(%)	Kr10(%)
Ig=7	200	20	18,5	20.82		
	240	30	22		24.50	
Ig=3	150	20	15	16.74		
	200	30	17		19.10	
Ig=4.56				18.33		
					21.20	
						24.79

➤ **Estimation de Kr10 par la méthode de CIEH**

L'évolution de Kr10 (%) en fonction de la géologie et de la pluie annuelle déterminée par la méthode de PUCH et CHABI-GONNI en 1983 est donnée par le tableau suivant :

Catégorie	Formulation	r	nombre
Granite + gneiss	$Kr10 = 2300 Pan^{-0,57}$	0,661	72
Grès	$Kr10 = 300 Pan^{-0,375}$	0,361	18
Sable	$Kr10 = 2 107 * Pan^{-2,2}$	0,602	7
Argiles	$Kr10 = 300 * Pan^{-0,3}$	0,376	12
Schistes	$Kr10 = 370 * Pan^{-0,375}$	0,370	24

Source : crues et apports ; manuelle pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugées de l'Afrique sahélienne et tropical sèche. Bulletin de la FAO CEMAGREF- CIEH : 1996, page 69.

Kr10 est donné par l'expression suivante pour un sol argileux

$$Kr10 = 300 * Pan^{-0,3} = 300 * 1130,68^{-0,3} = 36,4\%$$

En comparant les résultats donnés par les deux méthodes, nous allons retenir la plus grande qui est celle de CIEH. Donc  $Kr10 = 36,4\%$

**a. Méthode ORSTOM**

Le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation  $Q_{r10} = A * P_{10} * K_{r10} * \alpha_{10} * S / T_{b10}$

- **Débit moyen de la crue**

Le débit moyen de la crue  $Q_{m10}$  est donné par l'expression:

$$Q_{m10} = 16.7 * P_{m10} * K_{r10} * \frac{S}{T_{b10}} = 16.7 * 108.51 * 0,364 * \frac{66.221}{1432.10} = 30.50 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Coefficient de pointe décennal  $\alpha_{10}$**

Le coefficient de pointe, rapport du débit maximum ruisselé au débit moyen, est défini par la

relation :  $\alpha_{10} = \frac{Q_{r10}}{Q_{mr10}} = 2.6$

On admet  $\alpha_{10}$  voisin de 2.6 quelle que soit la superficie du bassin versant.

- **Débit maximum ruisselé  $Q_{r10}$**

$$Q_{r10} = \alpha_{10} * Q_{mr10} = 2.6 * 30.50 = 79.30 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Débit de pointe décennal  $Q_{10}$**

Le débit de pointe ou débit maximal total  $Q_{10}$  comprend le débit maximal de ruissellement et le débit dû à l'écoulement retardé

$$Q_{10} = Q_{r10} + Q_{ret10}$$

Part d'écoulement Retarde 5%

$$\text{Ou } Q_{10} = 1.05 * Q_{r10} = 1.05 * 79.30 = 84 \text{ m}^3/\text{s}$$

**b. Méthode CIEH**

La formule du débit de pointe décennal est donnée par :  $Q_{10} = a * S^s * P_{an}^p * I_g^i * K_{r10}^k * D_d^d$

Le tableau 28 présente le débit obtenu suivant chaque équation sélectionnée :

**Tableau 28 : Débit de pointe décennal de la méthode CIEH**

N°	r <sup>2</sup>	r	a	S	I <sub>g</sub>	P <sub>an</sub>	P <sub>m10</sub>	K <sub>r10</sub>	D <sub>d</sub>	Q (m <sup>3</sup> /s)
26	0,654	0.809	146	0,479			-0,969	0,457		59.93
39	0,818	0,904	0,410	0,425				0,923		67.24
40	0,824	0,908	0,254	0,462	0,101			0,976		68.60
44	0,757	0,870	203	0,459			-1,301	0,813		58.12

En faisant la moyenne des différents débits calculés, on obtient un débit décennal de CIEH qui est  $Q_{10} = 63.50 \text{ m}^3/\text{s}$

Nous allons retenir le débit le plus élevé qui est celui d'OSTROM pour la suite des calculs.

### 3. La méthode du Gradex

La relation est donnée par  $Q_{100} = C * Q_{10}$

Le coefficient majorateur :

$$C = 1 + \frac{P_{100}-P_{10}}{p_{10}} * \frac{(T_b/24)^{0,12}}{Kr_{10}} = 1 + 0,38 * \frac{(1432.10/24)^{0,12}}{0,364} = 2.71$$

$$Q_{100} = C * Q_{10} = 2.71 * 84 = 227.24(\text{m}^3/\text{s})$$

$$\frac{P_{100}-P_{10}}{p_{10}} = 0.38 \text{ car zone tropicale.}$$

## ANNEXE III : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE

### 1. Etude de la retenue

#### a. Courbes hauteurs – volumes – surfaces

Les courbes hauteurs volumes et hauteurs surfaces ont été tracés à partir du tableau 29 ci-dessous :

**Tableau 29 : Détermination des surfaces et des volumes**

Altitudes (m)	Surfaces (ha)	Volumes (*1000m <sup>3</sup> )	
		Partiels	Cumulés
321,07	0,07	0	0
322	0,08	0,29	0,29
323	0,1	0,3	0,59
323,2	0,15	0,61	1,2
323,4	0,17	0,8	2
323,6	0,22	1	3
323,8	0,33	1,11	4,11
324	0,48	1,15	5,26
324,2	0,5	1,18	6,44
324,4	0,51	1,19	7,63
324,6	0,54	1,31	8,94
324,8	0,59	1,38	10,32
325	0,6	1,48	11,8
325,2	0,62	1,49	13,29
325,4	0,65	1,52	14,81
325,6	0,66	1,54	16,35
325,8	0,69	1,56	17,91

326	0,7	1,64	19,55
326,2	0,71	2,01	21,56
326,4	0,76	2,18	23,74
326,6	0,8	2,36	26,1
326,8	0,89	2,84	28,94
327	0,92	3	31,94
327,2	0,97	3,12	35,06
327,4	1	3,41	38,47
327,6	1,09	3,84	42,31
327,8	1,15	3,99	46,3
328	1,26	4	50,3
328,2	1,7	4,19	54,49
328,4	1,8	4,69	59,18
328,6	1,99	4,89	64,07
328,8	2,4	5	69,07
329	2,43	5,26	74,33
329,2	2,49	5,67	80
329,4	2,53	5,87	85,87
329,6	3,1	5,9	91,77
329,8	3,18	6,05	97,82
330	3,24	7,22	105,04
330,2	3,29	7,24	112,28
330,4	3,34	7,25	119,53
330,6	3,4	7,31	126,84
330,8	3,45	7,4	134,24
331	3,48	7,41	141,65
331,2	4	7,45	149,1

331,4	4,13	7,46	156,56
331,6	4,19	7,47	164,03
331,8	4,36	7,51	171,54
332	4,44	7,83	179,37
333,2	4,59	7,85	187,22
333,4	4,89	7,89	195,11
333,6	5,11	8,02	203,13
333,8	5,14	8,1	211,23
334	6,2	8,9	220,13
334,2	6,8	9,6	229,73
334,4	10	10,21	239,94
334,6	12,1	13,68	253,62
334,8	15	20,34	273,96
335	15,14	26,34	300,3
335,2	15,6	27,12	327,42
335,4	16,1	33,51	360,93
335,6	16,5	38,9	399,83
335,8	17,4	58,4	458,23
336	20	59	517,23
336,2	22	60	577,23
336,4	23,1	60,8	638,03
336,6	25	61,33	699,36
336,8	25,6	61,89	761,25
337	28,3	62,15	823,4
337,2	30	63,6	887
337,4	31	63,8	950,8
337,6	32,4	63,9	1014,7

337,8	33	64	1078,7
338	35	64,5	1143,2
338,2	35,6	64,8	1208
338,4	36	65,08	1273,08
338,6	36,6	69,15	1342,23
338,8	37,1	75,19	1417,42
339	37,9	82,35	1499,77
339,2	38,4	82,94	1582,71
339,4	39	83,3	1666,01
339,6	40	83,57	1749,58
339,8	41,2	84,08	1833,66
340	42,6	84,96	1918,62
340,2	43	85	2003,62
340,4	43,05	85,47	2089,09
340,6	44	87,72	2176,81
340,8	44,12	90,71	2267,52
341	45	93,19	2360,71
341,2	45,6	95,12	2455,83
341,4	46	100,01	2555,84
341,6	46,3	110,54	2666,38
341,8	47,1	112,53	2778,91
342	47,6	115,4	2894,31

## b. Evaluation des besoins

### Besoins agricoles

L'estimation des besoins s'est faite avec le riz :

**Tableau 30 : Estimation des besoins agricole**

Riz										
Mois	N jours	Rain mm	Eff rain mm	ETO(mm/j)	Kc	Bes net(mm/j)	Bes brut (mm/j)	Bes brut (mm/an)	Bes btut (m3/j/ha)	Bes totaux (m3/j)
January	15	0,9	0,9	5,55	1,05	5,8275	8,325	999	83,25	4412,25
February		2,2	2,2	6,19	1,05	6,4995	9,285	1114,2	92,85	4921,05
March		26,7	25,6	6,25	1,05	6,5625	9,375	1125	93,75	4968,75
April		9.0	8.9			0	0	0	0	0
May		30.0	28.6			0	0	0	0	0
June		77.0	67.5			0	0	0	0	0
July		159.0	118.6			0	0	0	0	0
August		186.0	130.6			0	0	0	0	0
September		105.0	87.4			0	0	0	0	0
						0	0	0	0	0
Novembe	30	9	8,9	4,28	0,32	1,3696	1,956571429	234,7885714	19,56571429	1036,982857
Decembe	30	3,7	3,7	4,08	0,75	3,06	4,371428571	524,5714286	43,71428571	2316,857143
<b>Total</b>		<b>596.0</b>	<b>470.3</b>					<b>1758,36</b>	<b>7766,09</b>	<b>17655,89</b>

### ✚ Besoins domestiques

Les besoins ont été estimés à 20l/j/habitant.

**Tableau 31 : Estimation des besoins domestiques**

nombre de menages 2025	taille des meneages	nombre d'habitants	conso domestique	besoin l/j	besoin m3/j	besoin m3
200		5,4	1080	20	21600	21,6
						669,6

### ✚ Besoins pastoraux

Le tableau 32 ci-dessous présente les besoins pastoraux.

**Tableau 32 : Estimation des besoins pastoraux**

cheptel	bovin	ovin	caprin	volaille	total
<b>Effectif 2001</b>	288	245	360	1733	2544,61789
<b>taux de croissance</b>	0,047	0,028	0,036	0,052	
<b>Effectif 2025</b>	867,187178	475,336141	841,27238	5850,2755	
<b>cons Past l/j</b>	40	5	5	0,5	
<b>besoin en eau m3/j</b>	34687,4871	2376,68071	4206,3619	2925,13775	
<b>besoin en eau m3</b>	1118,9512	76,6671195	135,689094	94,3592823	

### ✚ Evaluation des pertes par évaporation

L'évaluation des pertes par évaporation se présente comme suit :

**Tableau 33 : Les pertes par évaporation**

	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	total
Ebac men	102,94	96,93	103,48	89,72	71,74	54,91	46,5	41,43	42,37	52,63	70,66	93,31	
Elac men (mm)	27,085	26,1217	27,1705	24,934	21,7932	18,5534	16,7865	15,6595	15,8724	18,0857	21,5951	25,53	<b>192,32</b>
Ebac jour (mm/j)	3,32065	3,46179	3,33806	2,99067	2,31419	1,83033	1,5	1,33645	1,41233	1,69774	2,35533	3,01	
Elac jour (mm/j)	3,42712	3,51408	3,43793	3,21785	2,75754	2,3944	2,12403	1,98142	2,0484	2,28842	2,78695	3,23036	24,6602
Elac jour (m3/ha/j)	34,2712	35,1408	34,3793	32,1785	27,5754	23,944	21,2403	19,8142	20,484	22,8842	27,8695	32,3036	
Elac jour (m3/j)	2269,47	2327,06	2276,63	2130,89	1826,07	1585,59	1406,55	1312,12	1356,47	1515,42	1845,54	2139,17	21991
Elac jour corr	1543,24	1582,4	1548,11	1449,01	1241,73	1078,2	956,456	892,24	922,402	1030,48	1254,97	1454,64	14953,9
Elac (mm/an)	106,241	98,3943	106,576	96,5355	85,4838	71,832	65,8449	61,4241	61,4521	70,9411	83,6084	100,141	<b>747,92</b>
s	66,221												
Coeff corr	0,68												

### ✚ Simulation de la retenue

**Tableau 34 : Stimulation des pertes de la retenue**

Période	Début période		Evaporation			Infiltration			Irrigation	Fin de période	
	Cotes de calage (m)	Volumes obtenus (m3)	Pertes en eau par évaporation (mm)	Plan d'eau après évapo (m)	Volumes restants après évapo (m3)	Pertes par infiltration (mm)	Plan d'eau après infiltration + évapo (mm)	Volumes restants après infiltration + évapo (m3)	Bésions en eau (agricole+d omestique +pastoraux )m3	Volumes restants après pertes et besoins (m3)	Cotes plan d'eau restant (m)
Nov	338	1 208 000,00	83,6	337,9164	108 710,70	60	337,8564	107 431,34	4 251,60	103 179,74	337,63
Déc	337,63	103 179,74	100,14	337,52986	968 000,89	60	337,46986	955 361,41	5 531,59	949 829,82	337,38
Jan	337,38	949 829,82	106,24	337,27376	889 255,71	60	337,21376	888 143,15	26 377,09	861 766,06	337,14
Fév	337,14	861 766,06	98,4	337,0416	823 566,48	60	336,9816	770 625,67	26 377,09	744 248,58	336,76
Mars	336,76	744 248,58	156,57	336,60343	699 365,11	60	336,54343	641 678,91	26 377,09	615 301,82	336,34
Avr	336,34	615 301,82	106,57	336,23343	580 036,18	60	336,17343	571 842,56	26 377,09	545 465,47	336,05

## 2. Etudes techniques du barrage

### a. Dimensionnement des digues de barrage

#### ✚ Hauteur de la digue (E)

Dans le langage courant la hauteur d'un barrage (E) est

$$E = H + h + R = 6 + 1 + 1 = 8 \text{ m}$$

#### ✚ Largeur en crête (lc)

En pratique, la largeur en crête (lc) est supérieure à 3 mètres. Des auteurs qui ont développés les formules empiriques, nous retenons :

**KNAPPEN**  $lc = 1.65 * \sqrt{E} = 1.65 * \sqrt{8} = 4,95 \text{ m}$

**PREECE**  $lc = 1.1 * \sqrt{E} + 1 = 1.1 * \sqrt{8} + 1 = 4.4 \text{ m}$

**Autres formules**  $lc = 3.6 * \sqrt{E} - 3 = 3.6 * \sqrt{8} - 3 = 7.8 \text{ m}$

**Formule empirique**  $lc = \frac{E}{3} = \frac{8}{3} = 3 \text{ m}$

On prendra l'arrondi à  $lc = 5 \text{ m}$

#### ✚ Effet des vagues et revanche libre

##### ❖ Mallet et Pacquant

La hauteur des vagues  $h = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} * \sqrt{f} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} * \sqrt{0,5} = 0,74 \text{ m}$

f = fetch en kilomètres.

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

formule :  $V = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} * h = 1.5 + \frac{2}{3} * 0,74 = 2 \text{ m/s}$

La revanche libre est donnée par la formule :

$$R = A * \left( h + \frac{V^2}{2 * g} \right) = 0.75 * \left( 0.74 + \frac{2^2}{2 * 9.81} \right) = 0,71 \text{ m}$$

##### ❖ Formule de GAILLARD

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

$$V = 1.5 + 2 * h = 1.5 + 2 * 0,74 = 2,98 \text{ m/s}$$

On prendra  $V = 3 \text{ m/s}$

Finalement, la revanche libre minimum pour tenir compte de l'action des vagues peut être prise approximativement égale à :

$$R = 0.75 * h + \frac{V^2}{2 * g} = 0.75 * 0,74 + \frac{3^2}{2 * 9.81} = 1 \text{ m}$$

### ✚ Epaisseur de la protection

$$ep = 1.5 * D50$$

$$h_{vague} = 0,74 m \Rightarrow D50 = 0,3m$$

$$ep = 1.5 * 0.3 = 0.45m \text{ soit } 45cm$$

### ✚ Infiltration et hydraulique interne

#### ❖ Calcul de l'emprise ou largeur au fond du barrage

L'emprise du barrage est donnée par la relation suivante :

$$Lf = lc + 2 \frac{H}{\tan\alpha} = 5 + 2 * \frac{9}{\frac{1}{2.5}} = 50 m$$

L'emprise du barrage  $Lf = 50m$

#### ❖ Calcul de la longueur du drain

Elle est estimée par la formule suivante :  $ld = \left(\frac{1}{4} \text{ à } \frac{1}{3}\right) * Lf = \frac{1}{3.5} * 50 = 14.28m$ .

#### ❖ Calcul du paramètre b

Ce paramètre est représenté par la projection horizontale de la ligne mouillée du talus amont.

Elle est définie par la formule suivante :

$$b = (H - R) * \frac{1}{\tan\alpha} = (9 - 1) * \frac{1}{\frac{1}{2.5}} = 20 m$$

Le paramètre  $b = 20 m$

#### ❖ Calcul du paramètre d

Il est calculé par la formule suivante :

$$d = Lf - 0.7b - ld = 50 - 0.7 * 20 - 14.28 = 21.72 m$$

Le paramètre  $d = 21.72 m$

#### ❖ Calcul du paramètre Y0

Il est calculé par la formule suivante :  $Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d = \sqrt{(H - R)^2 + d^2} - d$

$$Y_0 = \sqrt{(9 - 1)^2 + 20^2} - 21.72 = 1.42m$$

❖ **Evaluation du débit de fuite**

Le débit de fuite est calculé comme suit :

$$q = Kr * y_0 = 5 \cdot 10^{-7} * 1.42 = 1.59 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

On remarque que le débit de fuite, calculé pour la digue est faible mais pas négligeable, d'où la nécessité d'évacuer cette eau hors des fondations, car elle devient un danger pour la stabilité de l'ouvrage.

Ainsi, il est nécessaire d'envisager un dispositif de protection contre ces eaux, qui est composé du drain filtre.

✚ **Caractéristiques du drain**

$$L' épaisseur du drain e_d = 2 * \sqrt{\frac{q * l d}{k d}} = 2 * \sqrt{\frac{14.28 * 1.57 * 10^{-5}}{10^{-2}}} = 0.48 \text{ m}$$

$$e_d = 50 \text{ cm}$$

**a. Evacuateurs de crues et ouvrages annexes**

✚ **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 :

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

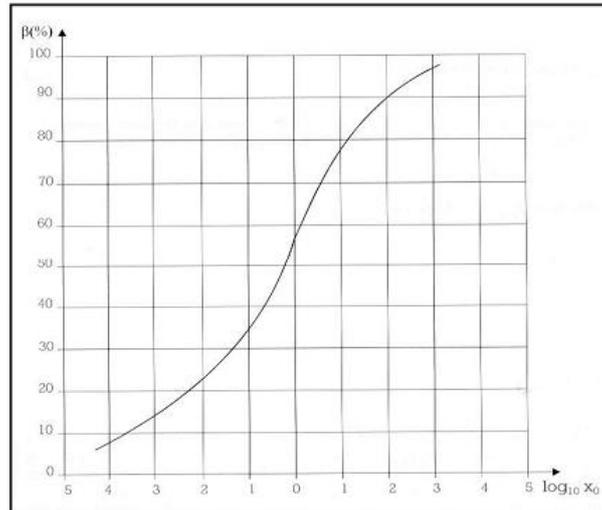
Ce qui permet d'avoir une valeur approchée de la longueur du seuil déversant :

$$L_{approx} = \frac{Q_{crue}}{m\sqrt{2gh^3}}$$

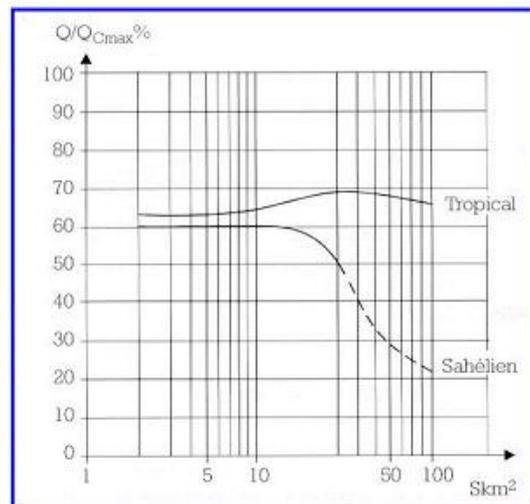
Le coefficient « x0 » se calcule par la formule :

$$x_0 = \frac{m^2 g L_1^2 Q_{cmax} t_m^3}{S^3}$$

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-dessous (droite).



**Graphique 7 : Abaque de la méthode de X0**



**Graphique 8 : Abaque de validation du X0**

Le débit laminé est alors :  $Q_e = \beta Q_{cmax}$ . Le tableau 35 ci-dessous donne une synthèse des résultats et de la procédure du calcul de la longueur de deversement des eaux.

**Tableau 35 : détermination de la longueur de seuil déversant**

L(m)	S(m <sup>2</sup> )	h(m)	m	Tm(s)	Q <sub>cmax</sub> (m <sup>3</sup> /2)	g(m/s <sup>2</sup> )	X0	logX010	B	Q <sub>emax</sub> (m <sup>3</sup> /s)
128,25529	662210	1	0,4	28356	227,24	9,81	460,651028	2,66337205	93%	211,3332
119,27742	662210	1	0,4	28356	227,24	9,81	398,417074	2,60033794	92%	209,0608
117,994867	662210	1	0,4	28356	227,24	9,81	389,89503	2,5909477	92%	209,0608
117,994867	662210	1	0,4	28356	227,24	9,81	389,89503	2,5909477	92%	209,0608
117,994867	662210	1	0,4	28356	227,24	9,81	389,89503	2,5909477	92%	209,0608
117,994867	662210	1	0,4	28356	227,24	9,81	389,89503	2,5909477	92%	209,0608

Le tableau precedent fixe la longueur du déversoir à  $L = 120 \text{ m}$ .

Le débit laminé à la sortie du déversoir vaut :  $Q_e = \beta Q_{cmax}$ , soit :  $209.06 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ce débit servira de base pour le dimensionnement du bassin de dissipation et du chenal.

#### ❖ Ancrage de la Digue

Profondeur minimales de l'encrage de la digue de retenu

**Tableau 36 : Profondeur d'ancrage**

Profils	Lv	LH	H	C	Lv+ (1/3)		Vérification
					LH	C*H	
2bis	0,5	3,5	0,5	3	1,66666667	1,5	Ok
3	0,5	4,5	0,5	3	2	1,5	Ok
3,1	0,5	5,8	0,5	3	2,43333333	1,5	Ok
3,2	0,5	6,22	0,5	3	2,57333333	1,5	Ok
4	0,5	7	0,86	3	2,83333333	2,58	Ok
4,1	0,5	9,18	2,73	3	3,56	8,19	non vérifié
5	3	9,78	2,2	3	6,26	6,6	non vérifié
6	3	17,93	2,9	3	8,97666667	8,7	Ok
6,1	3	22,54	2,08	3	10,5133333	6,24	Ok
7,1	3	23,1	3,13	3	10,7	9,39	Ok
8	3	23,84	1,98	3	10,9466667	5,94	Ok
8,1	3	25,84	2,19	3	11,6133333	6,57	OK
8,2	3	25,84	3,83	3	11,6133333	11,49	OK
9,1	3	22,92	3,94	3	10,64	11,82	non vérifié
9,2	3	22,36	5,02	3	10,4533333	15,06	non vérifié
10,1	3	21,04	3,21	3	10,0133333	9,63	ok
11	3	19,52	3	3	9,5066667	9	Ok
13bis	0,5	5,2	0,5	3	2,23333333	1,5	ok

❖ Etudes de stabilité du déversoir

➤ Evaluation des forces agissant sur le déversoir

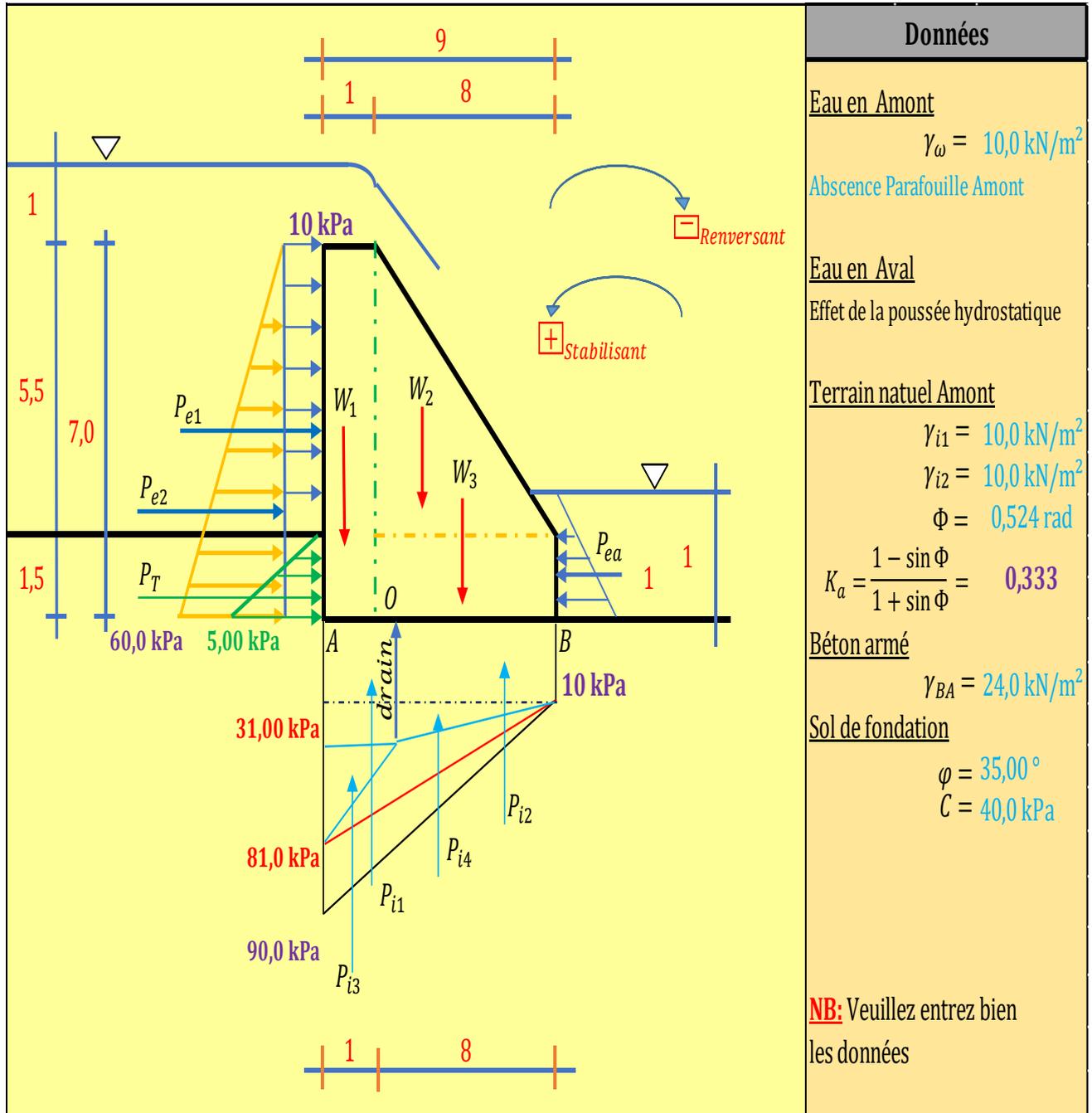


Figure 8 : Stabilité du déversoir

Tableau 37 : Stabilité du déversoir

Résultats (stabilité par rapport au point B)					
Designations	Force [kN/ml]		Bras de levier [m]	Moments [KN.m]	
	Verticale	Horizontale		stabilisants[+]	renversants[-]
<b>Poids propre</b>					
$W_1 = 7,0 * 1,00 * 24,0$	168,000		8,500	1428,000	
$W_2 = 6,0 * 8,00 / 2,0 * 24,0$	576,000		5,333	3072,000	
$W_3 = 8 * 1,00 * 24,0$	192,000		4,000	768,000	
<b>Poussées externes</b>					
$P_{e1} = 10,00 * 7,00$		70,000	3,500		245,000
$P_{e2} = 60 * 7,00 / 2,0$		210,000	2,333		490,000
$P_{ea} = 10,00 * 1,00 / 2,0$		5,000	0,333	1,667	
<b>Poussées des terres Amont</b>					
$P_T = 5,00 * 1,50 / 2,0$		3,750	0,500		1,875
<b>Somme des forces Verticales: W</b>	<b>716,000</b>				
<b>Somme des forces Horizontales: U</b>	<b>278,750</b>				
<b>Somme des Moments Stabilisants : <math>M_s</math></b>				<b>5269,667</b>	
<b>Somme des Moments Renversants : <math>M_r</math></b>					<b>1985,042</b>
<b>Stabilité au glissement</b>					
Coefficient de sécurité au glissement	$F_G = \frac{\sum(W - U) * \tan \varphi}{\sum P}$		<b>1,80</b>	Fg > 1: Condition vérifiée Ok!	
	$F_G = \frac{C * S + \sum(W - U) * \tan \varphi}{\sum P}$				
<b>Stabilité au renversement</b>					
Coef de renv $F_R = \left  \frac{M_S}{M_R} \right $	<b>2,65 m</b>	Distance par rapport à B : $X = \frac{M_S - M_R}{\sum F_V}$		<b>4,59 m</b>	
Excentricité $e = \frac{AB}{2} - X$	<b>-0,09 m</b>	Règle du tier centrale $\frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6}$		<b>1,50 m</b>	
Contrainte en A $\sigma_A$	<b>110,06 kPa</b>	Contrainte en B $\sigma_B$		<b>97,94 kPa</b>	

**Mur bajoyer**

Les différentes vérifications liées à la stabilité du mur bajoyer sont circonscrites dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 38 : Stabilité du mur bajoyer**

Calcul de la stabilité du MUR BAJOYER										
Designations					Force [kN/ml]		Bras de levier[m]	Moments [KN.m]		
					Verticale	Horizontale		stabilisants[+]	renversants[-]	
<b>Poids propre</b>										
W1 =	9,50	* 0,90	* 24,0		205,200		2,550	523,260		
W2 =	9,50	* 1,60	/ 2,0	* 24,0	7,600		1,567	11,907		
W3 =	2,50	* 1,50	* 24,0		90,000		1,750	157,500		
Wp =	0,50	* 1,50	* 24,0		18		0,25	4,500		
Wtalon =	4,00	* 1,50	* 24,0		144		5	720,000		
Wq =	10,00	* 4,00			40		5	200,000		
<b>poids externes</b>										
Wt =	4,00	* 9,50	* 18,0		684		5	3420,000		
Wb =	0,50	* 0,50	* 18,0		4,5		0,25	1,125		
Ww1 =	9,50	* 0,50	* 0,0		0		0,25	0,000		
Ww2 =	9,50	* 1,60	/ 2,0	* 0,0	0		1,03333333	0,000		
<b>Poussées externes</b>										
Pe =	0,00	1* 1,00	/ 2,0			0,000	3,667		0,000	
Pb =	11,88	* 2,00	/ 2,0			11,880	0,667	7,920		
Pt =	65,34	1* 1,00	/ 2,0			359,370	3,667		1317,690	
Pq =	3,30	1* 1,00				36,3	5,5		199,650	
<b>U</b>										
U1 =	0,00	* 7,00			0		3,5		0,000	
U2 =	110,00	* 7,00	/ 2,0		385		2,33333333		898,333	
Somme des forces verticales W					<b>808,300</b>					
Somme des forces horizontales : U						<b>383,790</b>				
Somme des moments stabilisants : Ms								<b>5046,212</b>		
Somme des moments renversants : Mr									<b>2415,673</b>	
<b>Stabilité au glissement</b>										
Coefficient de sécurité au glissement					$F_G = \frac{\sum(W - U) * \tan \varphi}{\sum P}$	<b>1,37</b>	Fg > 1 : Condition vérifiée Ok			
Coefficient de sécurité au glissement en tenant compte de la cohésion des fondations					$F_G = \frac{C * S + \sum(W - U) * \tan \varphi}{\sum P}$	<b>1,37</b>	Fg < 1,5 : Condition Non vérifiée			
<b>Stabilité au renversement</b>										
Coefficient de renversement Fr					$Fr = \frac{M_S}{M_R}$	<b>2,09 m</b>	Fr > 1,5 : Condition vérifiée Ok			
<b>Stabilité au poinçonnement</b>										
La somme des moments par rapport à G (centre de gravité de la base du mur)								<b>1153,425</b>	kN/m	
Contrainte en A $\sigma_{max}$					$\sigma_{max} = \frac{N}{B} + \frac{6 * MG}{B^2}$	<b>256,71 kPa</b>	Contrainte en B $\sigma_{min}$		$\sigma_{min} = \frac{N}{B} - \frac{6 * MG}{B^2}$	<b>25,76 kPa</b>
verifions $\sigma_{3/4} = \frac{3 * \sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} \leq q_s$								$\sigma_{3/4} =$	<b>198,97 kPa</b>	
<b>Condition vérifiée Ok</b>										

### ✚ Chenal d'évacuation

La profondeur normale  $Y_n$  dans le chenal est déterminée par application de la formule de

$$\text{Manning-Strikler} : Q = K_s S(y) R h(y)^{\frac{2}{3}} \sqrt{I}$$

Connaissant le débit et les caractéristiques du chenal, on peut procéder par itération pour trouver la profondeur normale. En pratique, on établit une équation en fonction de  $Y_n$ , ensuite on choisit des valeurs pour  $Y_n$  qui font tendre cette équation vers une constante (méthode de la débitance).

**Tableau 39 : Paramètres de calcul du chenal d'évacuation**

Bassin de dissipation (Bassin à ressaut)						
Débit Q (m3/s)	Ks	b	I	m	yn	yn
227,00	75	120,00	0,001	0,4	0,860	0,86

### ✚ Bassin de dissipation

La hauteur  $H_o$  du déversoir est lue sur le profil en long de la digue. Nous obtenons  $H_o = 6 m$ .

Nous avons les ratios suivant :

**Tableau 40 : Les calculs du bassin de dissipation**

yn	h	H0	g	q	V0	H
0,90	1,00	6	9,81	1,891666667	1,891666667	6,7
h/H0	yn/H0	D/H0	D	D pris	He	Z
0,17	0,15	0,2	1,200	1,2	1,182	2,182

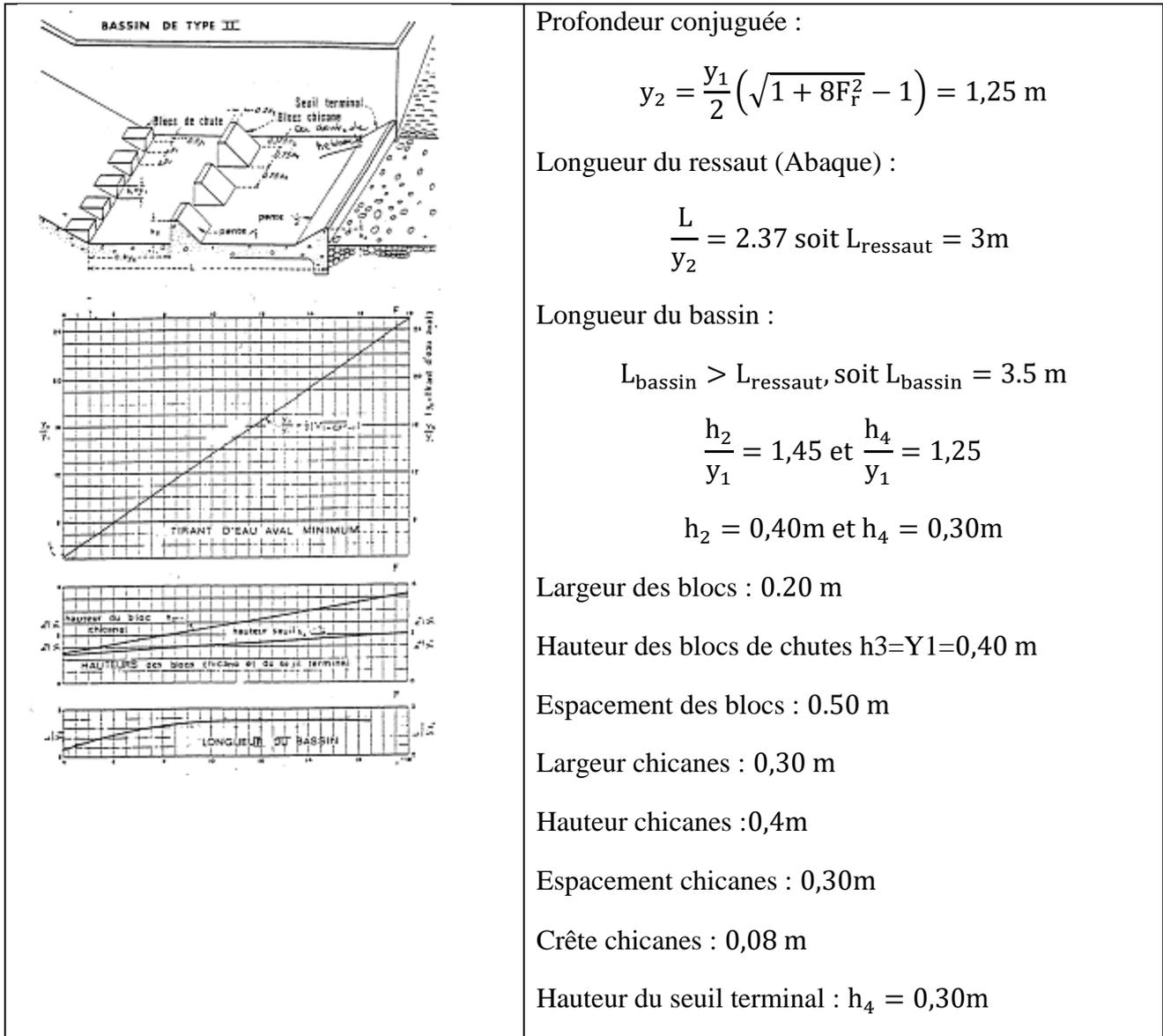


Figure 9 : Caractéristique des chicanes et des blocs de chutes

## ANNEXE IV : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE ET DEVIS DU PROJET

### 1. Etude d'impact environnementale et social

Tableau 41 : Plan d'atténuation et de gestion environnementale et sociale

N°	Activités	Indicateurs de suivi	Echéancier/période	Responsable	
				Surveillance	Suivi
1	- Organisation de procédure de dédommagement et de déplacement des occupants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de personnes réinstallées ou dédommagés</li> <li>- Plaintes enregistrées</li> <li>- Disponibilité des procès-verbaux de dédommagement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Direction Générale de l'Eau</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Mairie de Kerou</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Service eau du département</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction Départementale de l'Atacora</li> </ul>
2	- Implication des autorités locales et chefs traditionnels dans les négociations externes	Chiffrer le nombre d'autorités locales et chefs traditionnels concernés	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Service eau du département</li> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Direction Départementale de l'Atacora</li> </ul>
3	- Priorité au domaine le plus proche et sécurisé pour installation de la base	Lieu de la base de vie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Direction Départementale de l'Atacora</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>
4	- Clôturer la base de vie pour plus de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence de la clôture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>

5	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Développer les activités génératrices de revenus autour de la base grâce à l'aménagement d'un restaurant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence du restaurant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aménager une plateforme pour l'entreposage et manipulation des hydrocarbures et lubrifiants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence de la plateforme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Système de gestion des huiles usagées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de trace d'huile au sol</li> <li>- Dispositif de collecte des huiles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sensibiliser les populations sur les avantages et bénéfices locaux du projet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de résistants au projet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Couvrir les camions chargés de matériaux volatiles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de plaintes</li> <li>- Nombre de camions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Mairie de Kerou</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reboiser les espèces détruites</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Superficie reboisée et entretenue</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>

				contrôle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Direction départementale</li> <li>- Service des eaux</li> <li>- Inspection forestière</li> </ul>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Formation sur les bonnes pratiques aux conducteurs d'engins et de camions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fiche de consignes</li> <li>- Nombres de plaintes</li> <li>- Nombres d'accidents</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Arroser les voies d'accès</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombres de plaintes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Service des eaux</li> </ul>
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Se conformer à la législation forestière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantifier les ressources recensées par l'inspection forestière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> <li>- Inspection forestière</li> </ul>
14	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Le respect des normes de bruit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapport du contrôle</li> <li>- Nombre de plainte enregistré</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>
15	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Signalisation et indication sur le chemin d'accès du chantier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de panneaux de signalisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>
16	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mise en place des drapeautiers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence des drapeautiers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>

17	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Signaler convenablement le chantier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre d'affiches et de consignes de sécurité sur la base de vie et le chantier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Direction départementale</li> </ul>
18	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Doter les travailleurs d'EPI et s'assurer de leurs ports</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre d'ouvrier ayant reçu des EPI</li> <li>- Nombre d'accidents liés au non port des EPI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>
19	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sensibilisation sur les MST/SIDA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de campagnes de sensibilisation</li> <li>- Nombre de personnes sensibilisés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>
20	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Restaurer les carrières et sites d'emprunts ouverts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombres de sites restaurés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>
21	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Disposer les engins et camions sur des aires étanches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Superficie de l'emprise dégagée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> <li>- Inspection forestière</li> </ul>
22	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mettre en place un système de gestion durable des déchets solides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de poubelles et de bacs à ordures sur les bases de vie et sur le chantier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> <li>- Phase d'exploitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>

23	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Approvisionner les camions et engins sur des aires étanches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de déversement des hydrocarbures au sol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> <li>-</li> </ul>
24	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Faire des séances d'information sur l'entretien et l'utilité du barrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de séances d'information organisée</li> <li>- Nombre de personnes touchées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Direction départementale</li> <li>- Mairie de Kerou</li> </ul>
25	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Maintenir au moins un débit minimum (débit écologique) pour des ressources halieutiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence d'limnimètre fonctionnel installé au niveau du déversoir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase travaux</li> <li>- Phase d'exploitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Direction départementale</li> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Service des eaux de l'Atacora</li> </ul>
26	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Créer des couloirs de passage et de pâturage sur le bassin de la retenue</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence des couloirs de pâturage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>
27	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mettre en place un comité de gestion de la retenue</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence du comité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase d'exploitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>
28	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Elaborer et mettre en œuvre un plan de prévention de prise en charge de des cas de noyade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de panneaux de signalisation</li> <li>- Présence de garde-corps sur la digue</li> <li>- Nombre de cas de décès par noyade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> <li>- Phase d'exploitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Direction départementale</li> <li>- GNSP</li> </ul>
29	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Donner priorité à la main d'œuvre locale ç</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre d'ouvriers locaux recrutés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Direction départementale</li> </ul>

	compétence égale et surtout aux personnes affectées			contrôle	e
30	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Donner priorité à la main d'œuvre locale pour les emplois non qualifiés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre d'ouvriers non qualifiés recrutés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Direction départementale</li> <li>-</li> </ul>
31	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Installer un système de contrôle et de surveillance périodique de la composition physico-chimique de l'eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre d'analyse physico-chimique de l'eau effectué</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase d'exploitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mission de contrôle</li> <li>- DNSP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Direction départementale</li> <li>- DNSP</li> </ul>
32	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Réaliser des audits environnementaux internes annuels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapport d'audits internes conforme aux normes admises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase d'exploitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DG-eau</li> <li>- Mission de contrôle</li> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Direction départementale</li> <li>- DG-eau</li> </ul>
33	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Organiser la procédure de dédommagement et de déplacement des occupants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de personnes réinstallées ou ayant reçu une compensation</li> <li>- Nombre de plaintes enregistrées</li> <li>- Disponibilité des PV de dédommagement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase préparatoire</li> <li>- Phase travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entreprise GéSeB</li> <li>- Mission de contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mairie de Kerou</li> <li>- Direction départementale</li> <li>-</li> </ul>

## 2. Devis estimatif du projet

Tableau 42 : Devis estimatif du projet

N°	DESIGNATION DES OUVRAGES		U	Qté	PRIX UNITAIR E	PRIX TOTAL
0	<b>FRAIS GENERAUX</b>					
1	Amené et repli du matériel		FF	1	10 000 000	10 000 000
2	Installation du chantier		FF	1	30 000 000	30 000 000
3	Laboratoire de chantier		FF	1	20 000 000	20 000 000
	<b>sous-total 0</b>					<b>60 000 000</b>
0	<b>TAVAUX DE DIGUE EN TERRE</b>					
1	Abattage et dessouchage d'arbres		u	30	15 250	457500
2	Débroussaillage et nettoyage emprise des ouvrages		m <sup>2</sup>	20000	175	3500000
3	Décapage de la terre végétale (ép=0,25m)		m <sup>2</sup>	19450	725	14101250
4	Déblai de grande masse pour tranchée d'ancrage <sup>2</sup>		m <sup>3</sup>	4500	2250	10125000

5	Remblai soigneusement compacté pour ancrage		m3	4376	4920	21529920
6	Remblai soigneusement compacté pour Digue		m3	75360	4920	37077120 0
7	Matériau pour filtre pour digue coté aval		m3	325	4920	1599000
8	Protection talus amont (géomembrane) sous le perré sec		m2	1050	10115	10620750
9	Enrochement de moellons pour butée de pied amont		m3	347	5000	1735000
10	Enrochement de moellons pour butée de pied aval		m3	777	4975	3865575
11	Fouilles pour murets de crête et fondation des ouvrages		m3	463	2255	1044065
12	Maçonnerie de moellons pour muret de crête		m3	466	11925	5557050

13	Perré maçonné de part et d'autre du déversoir		m <sup>2</sup>	635	11925	7572375
14	Couche latéritique pour couronnement crête digue		m <sup>3</sup>	780	5000	3900000
15	Couche latéritique sur talus aval 0,10m		m <sup>3</sup>	803	5000	4015000
16	Fouilles pour bèche des murs bajoyers		m <sup>3</sup>	121	2500	302500
17	Béton de propriété dosé a 150 kg/m <sup>3</sup>		m <sup>3</sup>	29	35000	1015000
18	Béton armée dosé a 350 kg/m <sup>3</sup> pour murs bajoyers		m <sup>3</sup>	399	120000	47880000
19	Echelle mnimétrique		u	5	250000	1250000
20	Borne de référence topographique		u	4	250000	1000000
			<b>Sous-total 1</b>			<b>51184118</b>
						<b>5</b>
0	<b>EVACUATEUR DE CRUE</b>					

1	Déblai grande masse sous déversoir, bassins et aval bassin		m3	700,77	2500	1751925
2	Fouilles pour encrage des ouvrages		m3	398,37	2500	995925
3	Béton légèrement armé dosé à 350 kg/m3 pour les blocs		m3	41,63	95000	3954850
4	Béton ordinaire dosé à 300 kg/m3		m3	6000	80000	48000000
5	Joint water stop entre plots du déversoir		ml	325	45000	14625000
6	Joint bitumineux entre plots du bassin de dissipation		ml	50	10000	500000
7	Matériaux pour filtre sous déversoir et bassin de dissipation		m3	500	5000	2500000
8	Barbacane protégée par du tissu géotextile Bidim		ml	50	7000	350000
			<b>Sous total 2</b>			<b>50467770</b> <b>0</b>

0	<b>OUVRAGES DE PRISE D'EAU</b>					
1	Conduite en acier Ø250 et crépine Ø250		ml	30,39	300000	9117000
2	Béton armé dosé à 350 kg/m3		m3	120,36	120000	14443200
3	Béton de propriété dosé à 150 kg/m3		m3	20	35000	700000
4	Perré maçonné		m²	50	12000	600000
5	Fouilles		m3	125,35	2500	313375
6	Vanne à opercule Ø250 et accessoires		u	2	500000	1000000
7	Grille métallique amont et aval		ens	2	250000	500000
8	Dispositif de compactage des prélèvements d'eau		u	10	PM	
				sous total 3		26673575
				<b>2 * sous total 3</b>		<b>53347150</b>
0	<b>CHENAL D'EVACUATION</b>					
1	Déblai grande masse		m3	19963	2500	49907500

2	Gravillon sous enrochement de moellons et sous gabions		m3	3597	5000	17985000
3	Enrochement de moellons		m3	16000	5000	80000000
4	Gabions métallique de blocage de l'enrochement de moellons		m3	457	35000	15995000
5	Décapage pour digue de protection en aval du BD		m <sup>2</sup>	7010	750	5257500
6	Remblai compacté pour ancrage des digues de protection		m3	730,77	3500	2557695
7	Remblai compacté pour corps des digues de protection		m3	18000	3500	63000000
8	Perré maçonné sur talus amont des digues de protection		m <sup>2</sup>	3300	12000	39600000
9	Fouilles pour murets de crête		m3	261,73	2500	654325

10	Maçonnerie de moellons pour murets de crête des digues		m3	261,73	15000	3925950
11	Couche de couronnement sur digues de protection		m3	169,07	5000	845350
12	Couche de pose sur talus amont		m3	3300	5000	16500000
13	Couche latéritique sur talus aval		m3	330	500	165000
14	Enrochement de moellons pour butées de pied amont des digues		m3	220	5000	1100000
15	Enrochement de moellons pour drains de pied aval des digues		m3	400	5000	2000000
			<b>sous total 4</b>			<b>29949332 0</b>
0	<b>OUVRAGES DE VIDANGE DE FOND DE LA RETENUE D'EAU</b>					

1	Conduite en acier Ø 500 et crépine Ø 500		ml	25	425000	10625000
2	Béton armé dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> pour la passerelle d'accès		m <sup>3</sup>	0,5	120000	60000
3	Vanne à opercule Ø 500 et accessoires		u	3	350000	1050000
4	Clapet anti retour en plaque amovible		u	3	75000	225000
5	Garde-corps 6m		u	1	250000	250000
6	Echelon d'accès à la passerelle		u	1	120000	120000
			<b>sous-total 5</b>			<b>12330000</b>
<b>Sous- total</b>	<b>RECAPITULATI F DES COUTS DES TRAVAUX</b>		<b>COUTS</b>			
0	FRAIS GENERAUX		60 000 000			
1	TAVAUX DE DIGUE EN TERRE		511 841 185			
2	EVACUATEUR DE CRUE		504 677 700			
3	OUVRAGES DE PRISE D'EAU		53 347 150			
4	CHENAL D'EVACUATION		299 493 320			

5	OUVRAGES DE VIDANGE DE FOND DE LA RETENUE D'EAU		12 330 000		
		<b>TOTAL HT</b>	<b>1 441 689 355</b>		
		TVA (18%)	259 504 083,9		
		<b>TOTAL TTC</b>	<b>1 701 193 439</b>		

## **ANNEXE V : LES PLANS**

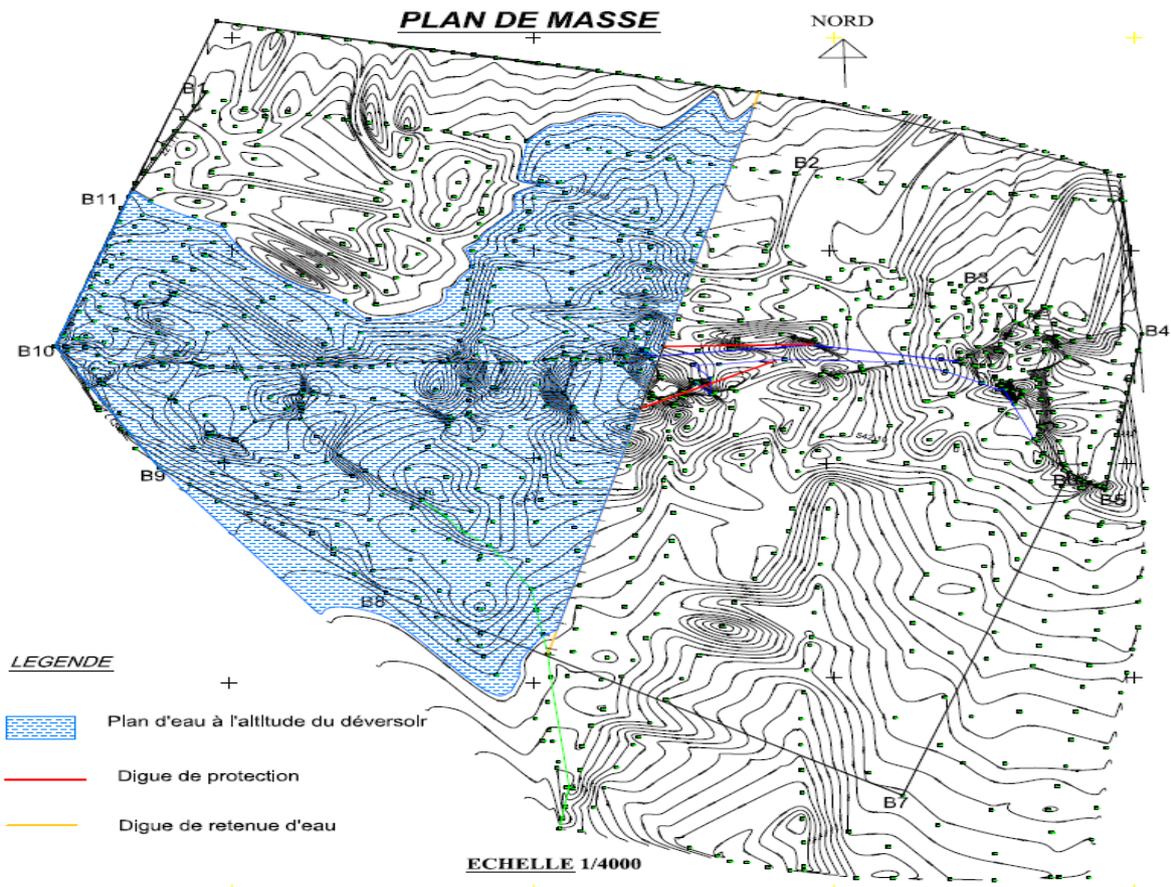


Figure 10 : Plan de masse

**PROFIL EN LONG DE LA DIGUE**

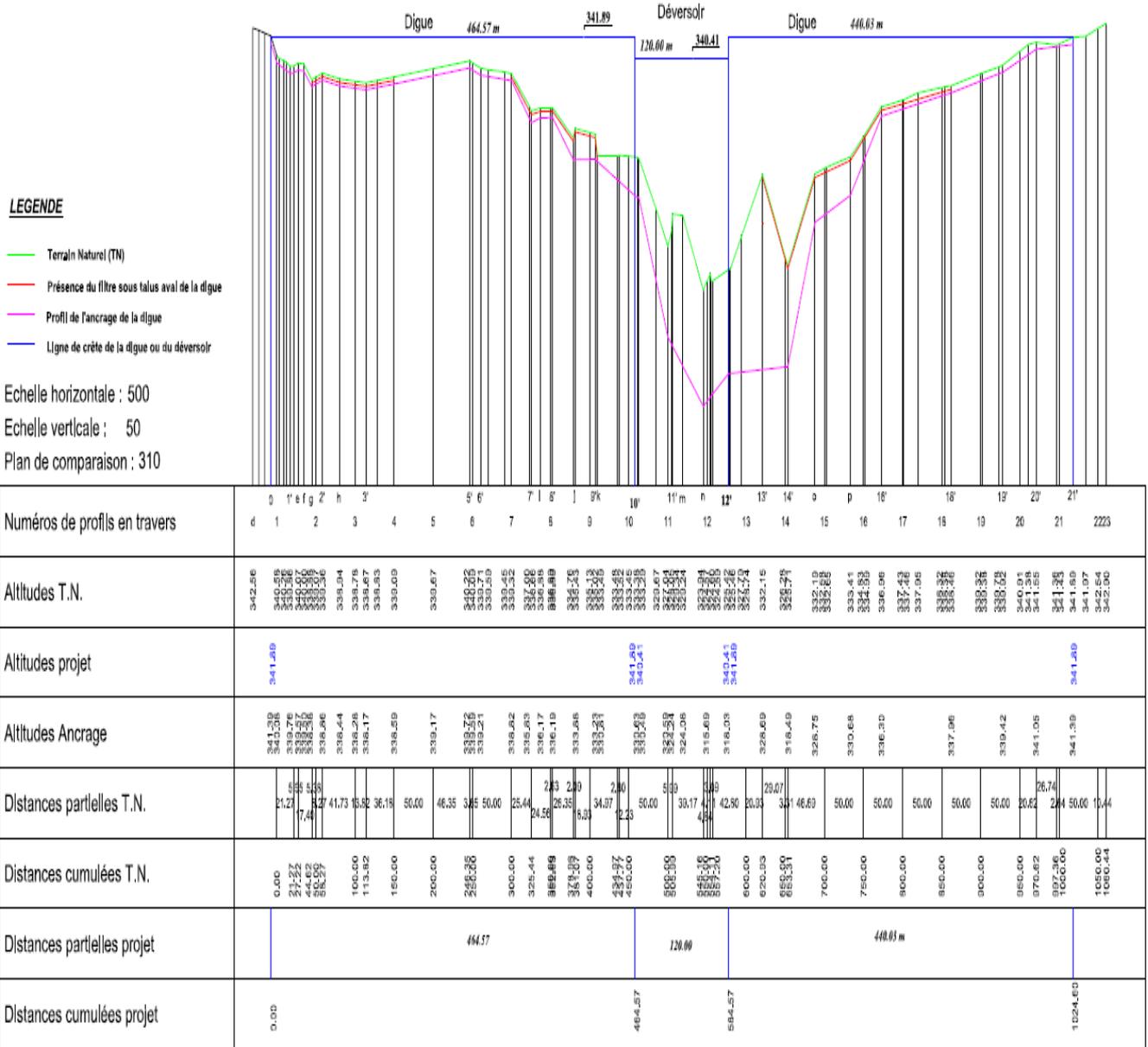
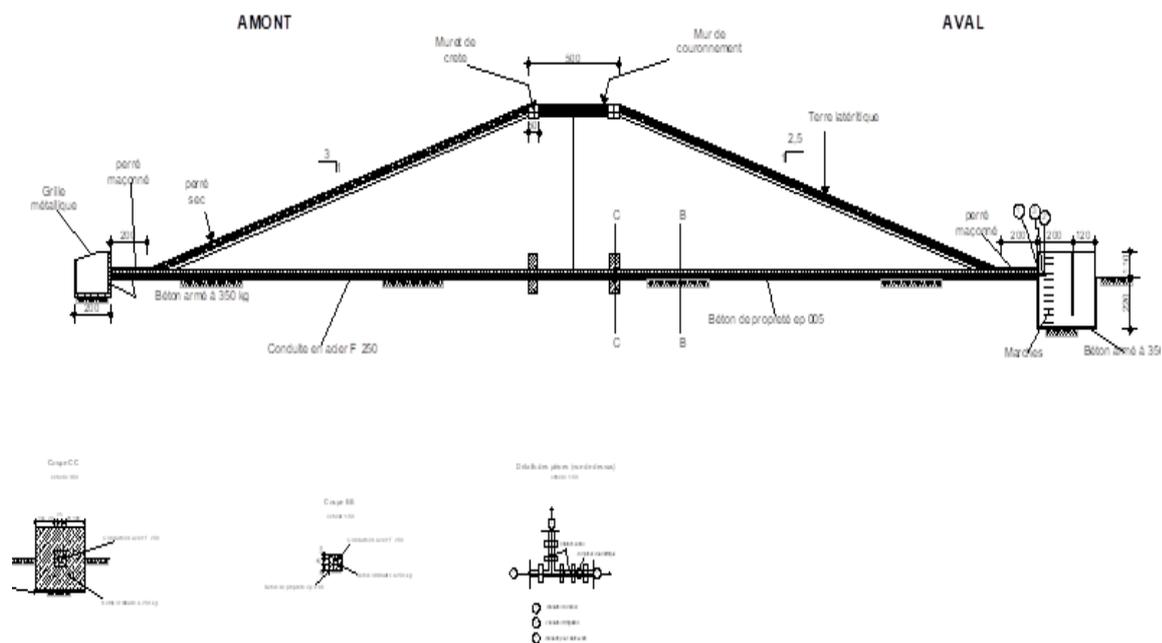


Figure 11 : Profil en long du barrage





Ouvrage de prise

Figure 14 : Ouvrage de prise