



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



**CHANTIERS D'AFRIQUE
ET EQUIPEMENTS**

GENIE CIVIL - HYDRAULIQUE - AMENAGEMENTS
HYDROAGRIQUES PISTES RURALES - OUVRAGES D'ART -
DIVERS EQUIPEMENTS COMMERCE GENERAL

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE DE BABAROU, DANS LA COMMUNE DE TCHAOUROU, AU BENIN

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

SPECIALITE : « GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE »

OPTION : « INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES »

Présenté et soutenu publiquement le 16 Janvier 2019 Par

Ruth Céleste Ariane Ambavi DAIZO (2013 0093)

Encadrant 2iE : Moussa LO, Enseignant à 2iE, Département GCH

Maître de stage : Dagbégnon Louis GOUTHON, Directeur Général de CAE

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Anderson **ANDRIANISA**

Membres et Correcteurs : Dr Fowé **TAZEN**

Mr Boureima **KOUANDA**

Promotion [2018/2019]

CITATION

« La réussite n'est pas définitive, l'échec n'est pas fatal : c'est le courage de continuer qui compte »

Winston Churchill

DEDICACE

Je dédie ce précieux travail à toute ma famille.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit de tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à notre formation et nous ont aidé à parfaire ce travail. Nous tenons particulièrement à remercier :

- ✚ La Direction de 2iE à travers son personnel administratif, son corps professoral pour tout le dévouement dont ils ont fait preuve tout au long de notre formation ;
- ✚ Monsieur Moussa LO, Encadrant 2iE, Enseignant au département Génie Civil et Hydraulique pour toute sa disponibilité, son attention à mon égard et pour le suivi de ce travail ;
- ✚ Monsieur Dagbégnon Louis GOUTHON, mon maître de stage et Directeur Général de Chantiers d'Afrique et Equipements (CAE) pour nous avoir accueilli dans sa structure, pour ses conseils, ses éclaircissements et sa disponibilité ;
- ✚ Toute l'équipe du chantier pour nous avoir accueilli et encadré tout au long des travaux ;
- ✚ Tout le personnel de CAE pour leur accueil, leur collaboration et l'aide qu'ils nous ont apporté ;
- ✚ Monsieur Brice HOUSSIONON, Directeur Général du bureau d'étude DASOM International, qui nous a recommandé à CAE et sans qui nous n'aurions pas pu effectuer ce travail ;
- ✚ Monsieur Bani GBAOURE, responsable du Service Planification Suivi et Evaluation des projets de développement à la CARITAS-BDBD, pour son soutien ;
- ✚ Madame Claudine Eléonore Koko LAWSON DAIZO, femme de bonté, celle qui nous a donné la vie, nous n'y serions jamais arrivé sans toi. Merci à toi pour ton amour maternel ;
Trouve-en ce travail une source d'espoir et le fruit de tes efforts ;
- ✚ Feu Rodolphe DAIZO qui veille sur nous depuis le ciel ;
- ✚ Toute la famille DAIZO, en particulier nos frères et sœurs, pour votre affection ; votre amour et surtout votre assistance matérielle, morale et spirituelle nous ont été d'une grande utilité au cours de ce parcours ;
- ✚ La famille BADA qui nous a accueilli et soutenu durant la période de stage ; infiniment merci ;
- ✚ Tous nos amis, qui nous ont toujours témoigné un soutien indéfectible tout au long de ce parcours ;

Aussi, toute notre gratitude s'adresse à toutes ces personnes dont les noms n'ont pas été cités et qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la rédaction de ce document.

RESUME

Ce mémoire présente les résultats des études techniques détaillées pour la réalisation du **barrage** agro pastoral, de Babarou, dans la commune de Tchaourou, au BENIN.

Le barrage de Babarou est situé à l'exutoire d'un bassin versant de **10,7 km²** qui peut apporter par année un volume moyen de **1 814 744 m³**. La cuvette présente une superficie de **9,61 ha** avec un volume stockable de **48 042 m³** au Plan d'Eau Normal (P.E.N).

La digue du barrage de Babarou est en remblai homogène argileux avec un couronnement latéritique et une crête présentant une côte de **301 m**. Elle a une longueur de **170 m** et une largeur en crête de **4 m**. La hauteur maximale est de **6 m** avec des talus amont et aval de pentes **1V/2H**.

Le déversoir en béton de section trapézoïdale, long de **30 m**, est latéral gauche et est conçu pour évacuer une crue centennale de **64,56 m³/s**. Il est calé à la côte **299 m** et à l'aval se trouve un bassin de dissipation à ressaut de type II.

Deux murs bajoyers de **3,5 m** de hauteur servent de jonction entre le déversoir et la digue.

Un ouvrage de prise de diamètre de conduite de **90 mm**, et calé à la côte **296,5 m**, permet d'alimenter l'abreuvoir, l'aire de lessive aménagée à l'aval de la digue ainsi que le périmètre irrigué de **2 ha** qui sera aménagé dans le futur.

Le coût de l'ouvrage est évalué à **133 785 608 FCFA** soit **668 928 FCFA** le mètre linéaire.

Mots clés :

- 1- Agro pastoral
- 2- Babarou
- 3- Bajoyer
- 4- Déversoir section trapézoïdale
- 5- Digue en remblai argileux

ABSTRACT

This brief presents the results of detailed technical studies for the realization of the Agro Pastoral dam, of Babarou, in the municipality of Tchaourou, in BENIN.

The dam, located at the outlet of a watershed of **10,7 km²**, can bring an average volume of **1 814 744 m³** per year. The basin has an area of **9,61 ha** with a storable volume of **48 042 m³** in the Normal Stretch of water (P.E. N).

The dike of the Babarou Dam is a homogeneous clay embankment with a lateritic coronation and a ridge with a coastline of **301 m**. It has a length of **170 m** and a ridge width of **4 m**. The maximum height is **6 m** with upstream and downstream slopes of **1V/2H**.

The trapezoidal concrete, long overflow of **30 m** is left lateral and is designed to discharge a centennial flood of **64,56 m³/s**. It is propped up at the **299 m** coast and downstream is a type II jump basin.

Two chamber walls of **3,5 m** in height serve as a junction between the Weir and the dike.

A **90 mm** pipe-diameter work, fitted to the **296,5 m** coast, is used to supply the water trough, the washing-up area downstream of the dike and the irrigated perimeter of **2 ha** which will be laid out in the future.

The cost of the work is estimated at **133 785 608 FCFA**, or **668 928 FCFA** per linear meter.

Key words:

-
- 1- Agro Pastoral
 - 2- Babarou
 - 3- Chamber
 - 4- Dike clay embankment
 - 5- Weir trapezoidal section

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE :	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
CAE :	Chantier d'Afrique et Equipements
Caritas-BDBD :	Bureau Diocésain du Borgou pour le Développement
CIEH :	Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
EIES :	Eude d'Impact Environnemental et Social
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GPS :	Global Positioning System
IRD :	Institut de Recherche pour le Développement
ORSTOM :	Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer
PEN :	Plan d'Eau Normal
PHE :	Plus Hautes Eaux
RGPH :	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
TN :	Terrain Naturel
UBT :	Unité de Bétail Tropical

TABLE DES MATIERES

Citation.....	i
Dédicace	ii
Remerciements	iii
Résumé.....	iv
Abstract.....	v
Liste des abréviations	vi
Table des matières.....	1
Liste des tableaux.....	3
Liste des figures.....	4
Liste des graphiques	5
<i>Introduction</i>	<i>6</i>
<i>I. Objectifs de l'étude.....</i>	<i>7</i>
<i>I.1. Objectif général</i>	<i>7</i>
<i>I.2. Objectifs spécifiques.....</i>	<i>7</i>
<i>II. Présentation de la zone d'étude</i>	<i>7</i>
<i>II.1. Localisation du site du barrage.....</i>	<i>7</i>
<i>II.2. Caractéristiques géo-climatiques de la zone d'étude</i>	<i>9</i>
II.2.1. Climat et pluviométrie.....	9
II.2.2. Relief et sol	9
II.2.3. Végétation	10
<i>II.3. Etude socioéconomique.....</i>	<i>10</i>
II.3.1. Structure de la population	10
II.3.2. Activités économiques	11
II.3.3. Les Attentes des populations par rapport au projet	12
<i>III. Matériels et méthodes.....</i>	<i>13</i>
<i>III.1. Revue documentaire.....</i>	<i>13</i>
<i>III.2. Visite de site</i>	<i>13</i>
<i>III.3. Etudes de base</i>	<i>13</i>

III.3.1.	Etude socioéconomique	13
III.3.2.	Etude topographique.....	13
III.3.3.	Etude géotechnique	14
III.3.4.	Etude pluviométrique	14
III.4.	<i>Etude des apports liquides.....</i>	14
III.4.1.	Caractéristiques du bassin versant	14
III.4.2.	Prédétermination des crues	17
III.5.	<i>Conception et dimensionnement du barrage.....</i>	22
III.5.1.	Etude de la retenue	22
III.5.2.	Etudes techniques du barrage	25
IV.	<i>Résultats et discussion.....</i>	32
IV.1.	<i>Etudes de base</i>	32
IV.1.1.	Etude topographique.....	32
IV.1.2.	Etude géotechnique	32
IV.1.3.	Etude pluviométrique	33
IV.2.	<i>Etude des apports liquides.....</i>	35
IV.2.1.	Caractéristiques du bassin versant	35
IV.2.2.	Prédétermination des crues	38
IV.3.	<i>Conception et dimensionnement du barrage.....</i>	40
IV.3.1.	Etude de la retenue	40
IV.3.2.	Etudes techniques du barrage	44
V.	<i>Etude d'impact environnemental et devis estimatif du projet.....</i>	49
V.1.	<i>Etude d'impact environnemental.....</i>	49
V.2.	<i>Devis estimatif du projet.....</i>	50
	<i>Conclusions</i>	52
	<i>Recommandations - perspectives</i>	53
	<i>Bibliographie</i>	54
	<i>Annexes.....</i>	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Paramètres climatiques à Parakou de 1980-2017.....	9
Tableau 2 : Equation de détermination de Kr10 par la méthode de PUECH.....	18
Tableau 3 : Période de retour	19
Tableau 4 : Paramètres de l'équation de CIEH	20
Tableau 5 : Fruit indicatif des talus des barrages stables	26
Tableau 6 : Coordonnées de points de références	32
Tableau 7 : Résultats de l'analyse des pluies annuelles moyennes de Tchaourou.....	33
Tableau 8 : Résultats de l'analyse des pluies maximales journalières de Tchaourou.....	34
Tableau 9 : Synthèse de l'étude pluviométrique	35
Tableau 10 : Caractéristiques du bassin versant.....	37
Tableau 11 : Paramètres de calcul du débit de crue	38
Tableau 12: Tableau de synthèse du débit de crue.....	39
Tableau 13: Apports liquides du bassin versant.....	40
Tableau 14 : Estimation des besoins	42
Tableau 15 : Evaporation dans la retenue	42
Tableau 16 : Estimation du volume des sédiments	43
Tableau 17 : Caractéristiques de la digue.....	44
Tableau 18 : Vérification de la stabilité du déversoir	46
Tableau 19 : Caractéristiques géométriques du mur bajoyer	47
Tableau 20 : vérification de la stabilité du mur bajoyer.....	47
Tableau 21 : Devis estimatif du projet	50

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du site de la retenue d'eau de Babarou	8
Figure 2 : Bassin versant alimentant le barrage de Babarou	36
Figure 3 : Représentation de la ligne phréatique.....	45
Figure 4 : Etude de stabilité des talus.....	45

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : Analyse statistique des données pluviométrique annuelle de Tchaourou	33
Graphique 2: Analyse statistique des données pluviométrique journalières maximales de Tchaourou.....	34
Graphique 3 : Courbe Hypsométrique du bassin versant.....	37
Graphique 4: Hydrogramme de crue.....	39
Graphique 5 : Courbe Hauteur – Volume	41
Graphique 6 : Courbe Hauteur – Surface	41
Graphique 7 : Courbe d’exploitation de la retenue	43

INTRODUCTION

L'eau, une ressource vitale pour les êtres humains, est de plus en plus rare sur notre planète. En effet, la menace du changement climatique et son impact sur les précipitations est devenue une préoccupation pour les futurs approvisionnements en eau.

Bien que les variations climatiques n'affectent pas de manière uniforme toutes les localités du territoire Béninois, elles pourraient avoir de graves conséquences pour l'économie du pays. Certains départements tels que le Borgou et l'Alibori sont localisés dans des zones sujettes à de nombreux risques liés aux changements climatiques tels que les vents violents, les poches de sécheresse en saison pluvieuse ou les ruptures de pluies ; une variabilité spatio-temporelle des pluies ou des modifications récurrentes du régime pluviométrique. Ces variations constituent pour les populations de ces zones rurales en majorité agricoles (73%) un frein pour l'élevage, l'agriculture de contre-saison et certaines activités liées à l'eau. (RGPH 4)

C'est dans le but de résoudre ces problèmes que la Caritas-BDBD a initié un Projet dénommé « construction et de valorisation des retenues d'eau dans l'Archidiocèse de Parakou ».

Parmi ces barrages, figure celui de Babarou, un barrage à but agropastoral qui va contribuer au développement socio-économique du Centre pour l'Orphelinat de Babarou et des populations du village à travers la promotion de la pisciculture et du maraîchage de contre saison dans le Centre et les activités pastorales dans le village.

Le présent mémoire dont le thème s'intitule : « **Conception, dimensionnement et suivi des travaux d'exécution du barrage de Babarou, commune de Tchaourou, au BENIN** » retrace l'ensemble des travaux que nous avons menés tout au long de la durée de notre stage au sein de l'entreprise *Chantier d'Afrique et Equipements* (CAE) chargée de l'étude et de l'exécution de ce barrage.

Deux grandes parties seront développées : la première fait état des généralités et de l'approche méthodologique. Nous y rendons compte de la revue documentaire, de la description de la zone du projet et des méthodes utilisées. Dans la seconde partie, nous présentons les résultats de notre étude en mettant en exergue les dimensions des différents ouvrages. Elle fait également le point sur la description des travaux d'exécutions.

Nous concluons en insistant sur les bénéfices d'un tel ouvrage pour les populations et en faisant quelques recommandations quant à sa gestion.

I. OBJECTIFS DE L'ETUDE

I.1. OBJECTIF GENERAL

L'objectif général de ce présent rapport est de faire l'étude technique détaillée du barrage de Babarou, dans la commune de Tchaourou, au Bénin.

I.2. OBJECTIFS SPECIFIQUES

Il s'agit plus spécifiquement de :

- faire une étude de base faisant ressortir les caractéristiques de la zone d'étude à savoir le climat, le sol, la végétation, l'hydrologie, l'hydrographie et la topographie de la zone d'étude ;
- faire la conception et le dimensionnement des ouvrages ;
- fournir les plans des différents ouvrages dimensionnés ;
- proposer une étude d'impact environnemental et sociale du projet ;
- produire un devis quantitatif et estimatif des ouvrages à réaliser ;
- présenter la description des travaux d'exécution du Barrage de Babarou.

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1. LOCALISATION DU SITE DU BARRAGE

Le site du barrage se trouve dans le village de Babarou qui est situé dans l'Arrondissement de Bétérou à environ 25 km à l'ouest de la ville de Tchatchou et à 30 km environ de la commune de Tchaourou, dans le département du Borgou au Bénin.

Les coordonnées géographiques du site sont :

Longitude : 2°25'10.77"E

Latitude : 9° 6'3.29"N

Elévation : 293 m

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

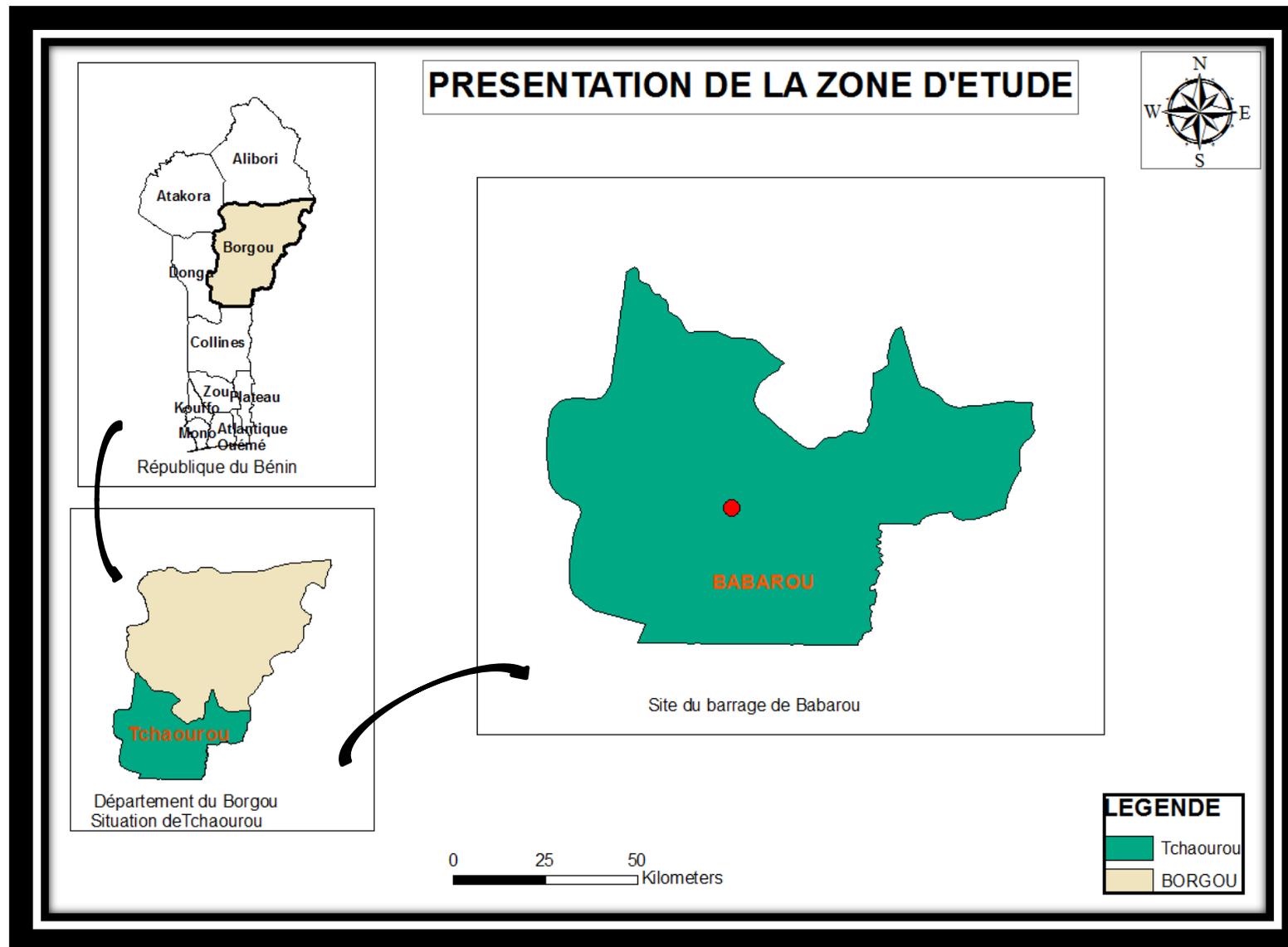


Figure 1 : Localisation du site de la retenue d'eau de Babarou

II.2. CARACTERISTIQUES GEO-CLIMATIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

II.2.1. Climat et pluviométrie

A l'instar des autres communes du département du Borgou, la commune de Tchaourou est soumise à l'influence du climat sud-soudanien. Il s'agit d'un climat uni-modal caractérisé par une saison sèche et une saison humide. La pluviométrie annuelle varie entre 900 et 1 300 mm par an. La saison des pluies commence en avril et dure sept (7) mois environ. La température moyenne annuelle s'établit autour de 26°C avec un maximum de 35°C en mars et redescend aux environs de 23°C en décembre-janvier. L'humidité relative varie entre 30 et 70%. (CAHIER DES VILLAGES ET QUARTIERS DE VILLE DU DEPARTEMENT DU BORGOU,2016)

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 : Paramètres climatiques à Parakou de 1980-2017

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

II.2.2. Relief et sol

Le relief est constitué de plaines et de plateaux surmontés par endroit de monticules/collines culminant parfois à plus de 300 m d'altitude. Les collines expliquent la présence des carrières de graviers et de granites observées çà et là non loin du site. (CAHIER DES VILLAGES ET QUARTIERS DE VILLE DU DEPARTEMENT DU BORGOU,2016)

Les principaux types de sols rencontrés dans ce département sont surtout les sols ferrugineux tropicaux, des sols ferralitiques, des sols sablonneux argileux ou argilo-sableux et les sols granito-gneissiques à caractère très varié selon les séquences topographiques.

Dans la commune de Tchaourou, les sols sont hydromorphes.

II.2.3. Végétation

Tchaourou est une zone de savane avec quelques forêts semi-décidues et galeries forestières. La zone de savane est de type arborée et arbustive. On y rencontre quelques forêts classées à savoir : la forêt de nano, la forêt de Wari-Marou, la forêt de Tchatchou-Okanna, la forêt de Tchaourou et la forêt d'Alafiarou-Bétérou. Ces forêts couvrent une superficie de 1.725 km² soit environ 25% de la superficie totale de la commune. (CAHIER DES VILLAGES ET QUARTIERS DE VILLE DU DEPARTEMENT DU BORGOU, 2016)

II.3. ETUDE SOCIOECONOMIQUE

II.3.1. Structure de la population

La population de la commune était de 223 138 habitants en 2013 (4^{ième} RGPH) contre 106.000 habitants en 2002. Le taux d'accroissement est de 6,54%.

La commune de Tchaourou est une commune rurale ; plus de 80% des ménages sont ruraux, avec une taille moyenne de neuf (09) personnes par ménage. Dans le village de Babarou, elle est de 6,8 personnes par ménage.

A l'instar des autres communes du département du Borgou, la population de la commune de Tchaourou est extrêmement jeune, plus de la moitié de cette population à moins de 15 ans. Cette répartition laisse entrevoir le rôle stratégique de la population active (les 15-59 ans) comme pourvoyeur de ressources et comme acteurs du développement de la commune. (INSAE, RGPH4-2013)

L'agriculture, l'élevage et la pêche constituent les principaux pôles d'activités de la commune, elles occupent à elles seules 78,11% de la population active. De façon grossière, la répartition socioprofessionnelle suivante peut être établie entre les deux principaux groupes ethniques présents dans les départements du Borgou et de l'Alibori : les Peulh sédentaires ou transhumants pratiquent l'élevage et les autochtones Bariba sont agriculteurs. On constate que de plus en plus, que la modernisation induit de nouveaux comportements et une diversification professionnelle qui amènent les agriculteurs à s'initier à des activités d'élevage tandis que les éleveurs peulh s'adonnent progressivement à l'agriculture.

II.3.2. Activités économiques

Agriculture

La production agricole est caractérisée par la prédominance des racines et tubercules et des cultures de rente (coton et anacarde).

Les techniques culturales et le matériel agricole demeurent encore rudimentaires. Les sols sont épuisés du fait des pratiques agricoles néfastes basées sur les cultures extensives sur brûlis. L'accès aux technologies modernes est très difficile, en raison de l'insuffisance des ressources financières des producteurs et du faible niveau de qualification de la main d'œuvre agricole.

L'Élevage

La production animale est dominée par l'espèce bovine, 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 Tchaourou étaient les suivants : bovins : 25 753, ovins : 11 775 ; caprins : 14 093 selon le recensement de 2003.

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 font leur principale occupation.

Pêche et commerce

Malgré la présence de quelques cours d'eau et de retenues d'eau, la pêche et la pisciculture restent très peu organisées au niveau de la commune et utilisent jusque-là des moyens rudimentaires. Ce qui favorise la pêche informelle et conduit à la détérioration des ressources halieutiques.

Les activités de commerce sont de type informel. Les principaux produits commercialisés sont les produits agricoles et leurs dérivés. (INSAE, RGP4-2013) Les atouts de ce secteur ont pour noms : l'importance du cheptel, l'ouverture de quelques pistes rurales, l'importance des échanges a. A l'inverse, les contraintes de ce secteur sont liées au fait que les marchés sont étroits et non

modernes ; les pistes sont impraticables une partie de l'année ; les infrastructures d'élevage sont insuffisantes (marchés à bétail, boucheries) ; etc.

II.3.3. Les Attentes des populations par rapport au projet

Les populations adhèrent complètement au projet de construction du barrage de Babarou. Les populations bénéficiaires s'engagent à exploiter judicieusement l'eau de la retenue, à mettre en place des activités génératrices de revenus l'élevage, le maraîchage, la production de plants, la pisciculture et la pêche et à contribuer à la gestion et à l'entretien du barrage.

III. MATERIELS ET METHODES

La méthodologie de notre étude s'articule comme suit :

III.1. REVUE DOCUMENTAIRE

Elle a consisté à consulter les documents comme les anciens rapports d'études de barrages, les livres, les cartes, les documents de cours et des sites sur internet au sujet de l'étude de conception et de dimensionnement des barrages.

III.2. VISITE DE SITE

La visite de site a porté sur la prospection d'un site favorable à la réalisation d'une retenue d'eau. Une fois le site choisi, des levés topographiques et des essais d'infiltrations ont été effectués.

III.3. ETUDES DE BASE

III.3.1. Etude socioéconomique

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. Ces informations recueillies ont permis également de déterminer les besoins en informations de terrain, d'élaborer des questionnaires ou guide d'entretien pour la collecte des informations complémentaires sur le terrain. Le but visé par ces différents entretiens 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.3.2. Etude topographique

Une campagne topographique a été menée par une équipe de topographe de CAE. 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 à partir des points de cette polygonale avec des équidistances respectives de 10 m et 30m 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. Le traitement des données et l'élaboration des plans et profils ont été effectuées à l'aide des logiciels Covadis et AutoCAD.

III.3.3. Etude géotechnique

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

III.3.4. 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 normal 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.4. ETUDE DES APPORTS LIQUIDES

III.4.1. 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 Babarou 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 :

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

$$S : \text{ la superficie du bassin, en km}^2.$$

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 km² ;

✚ 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 :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

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 ;
I_g : 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 :}

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

Où n est un coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent avec

n = 2 pour L < 5 km
3 pour 5 km < L < 25 km
4 pour 25 km < L < 50 km
5 pour 50 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 km/km²

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

S : la surface du bassin en km²

✚ La dénivelée spécifique

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

$$Ds = I_g * \sqrt{S} \quad \text{Avec } S : \text{ la superficie du bassin, en km}^2$$

I_g : l'indice global de pente en m/km

On peut distinguer différentes classes de relief en fonction de D_s :

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

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.4.2. 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 P_{m10} , est obtenue en multipliant la hauteur de précipitation ponctuelle P_{10} par le coefficient d'abattement A , déterminée par l'équation simplifiée de Villaume en 1974.

$P_{m10} = A * P_{10}$ Avec A : le coefficient d'abattement donné par

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

P_{10} : la précipitation maximale décennale en mm

S : la superficie du bassin versant en km^2

P_{an} : 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 tropicale sèche, le temps de base est donné par : $Tb = a * S^{0,36} + b$ 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 I_{gcor} encadrant l'indice de pente du bassin versant analysé.

✚ Temps de montée (Tm10)

Le temps de montée T_m 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 de ORSTOM

L'estimation du coefficient de ruissèlement Kr₁₀ est faite par interpolation linéaire entre les valeurs Kr₇₀ et Kr₁₀₀. Ces valeurs sont déterminées à partir de formules suivantes :

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

(cf. crue et apport, manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versant non jaugé 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 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 2 suivant :

Tableau 2 : Equation de détermination de Kr10 par la méthode de PUECH

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 3 : 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

III.4.2.1. 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

α_{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 α_{10} est voisin de 2,6 quelle que soit la superficie du bassin.

III.4.2.2. 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 Q_{10} est basée sur un schéma de régression multiple et se présente

sous la forme : $Q_{10} = a * S^s * Pan^p * Ig^i * Kr_{10}^k * Dd^d$

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

S est la surface du bassin (km²)

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^{-1})

(Source : crues et apports, manuel pour l'estimation des crues décennales et de 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^2 en favorisant les échantillons pour lesquels n est élevé. De cette manière, on peut sélectionner les équations no. 26, 39, 40, 44.

Tableau 4 : Paramètres de l'équation de CIEH

N°	Echantillons	Corrélation		Constante	Coefficients de l'équation de la méthode CIEH					
	n	r^2	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	

III.4.2.3. 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

K_{r10} : 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 décennale : $\frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} = 0,38$ en zone tropicale

III.4.2.4. 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.

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

T_b : le temps de base en min

T_m : le temps de montée en min

α_{10} : le coefficient de pointe

III.4.2.5. 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 Babarou.

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

$$V_e = K_e \cdot P \cdot S \text{ Avec } K_e : \text{ le coefficient d'écoulement en \%},$$

P : la pluviométrie en mm

S : la superficie du bassin versant en km^2

III.5. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE

III.5.1. Etude de la retenue

III.5.1.1. 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.

III.5.1.2. 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 2ha qui sera aménagée sur la rive gauche du barrage pour l'orphelinat de Babarou. Cette évaluation se fera pour la saison sèche en fonction de la culture la plus contraignante parmi celles qu'ils cultivent déjà qui est la tomate.

Les besoins bruts seront estimés partir des paramètres suivants :

❖ Coefficients culturels 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 :

$$K_{c\text{mois}} = \frac{K_{ci} \times N_i + K_{cj} \times N_j}{N}$$

Avec : K_{ci} = Coefficient culturel pour la phase i ;

K_{cj} = Coefficient culturel pour la phase j ;

N_i = Nombre de jour dans la phase i pour le mois considéré ;

N_j = Nombre de jour dans la phase j pour le mois considéré ;

N = Nombre total du jour du mois (somme de N_i et N_j).

❖ Estimation de l'évapotranspiration maximal ETM

La valeur de E_{To} de la localité a été tirée du logiciel CROPWAT de la FAO.

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

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

❖ La réserve utile (RU)

Elle est fonction des humidités caractéristiques et donnée par la formule suivante :

$$RU = \theta_{FC} - \theta_{WP} \quad \text{Avec } \theta_{FC} : \text{ L'humidité à la capacité au champ}$$

$$\theta_{WP} : \text{ L'humidité au point de flétrissement}$$

❖ La réserve facilement utilisable (RFU)

$$RFU(mm) = RU(mm/m) \times Z_{rmax} (m) \times p \quad \text{Avec } RU : \text{ Réserve utile}$$

$$p : \text{ Facteur de tarissement}$$

$$Z_{rmax} : \text{ Profondeur d'enracinement}$$

❖ Besoin Max de Pointe

$$BMP(mm/j) = ETM - (Pe + R) \quad \text{Avec } ETM: \text{ Evapotranspiration maximale}$$

$$Pe : \text{ Pluie efficace}$$

$$R : \text{ Recharge de nappe souterraine}$$

❖ La fréquence et tours d'eau (jour)

La fréquence d'irrigation a été calculée avec la formule ci-dessous : $F(j) = \frac{RFU(mm)}{BMP(mm/j)}$

Le tour d'eau est choisi tel que $T(jour) \leq F(jour)$

❖ La dose brute (Db)

$$Db (mm) = \frac{Dr(mm)}{Ea} \quad \text{Où la dose réelle } Dr = BMP(mm/j) * T(j) \text{ avec } T(j) : \text{ Tour d'eau}$$

$$Ea : \text{ l'efficacité d'application}$$

✚ Besoins domestiques

Le barrage de Babarou n'est pas l'ouvrage le plus économique pour résoudre le problème de l'alimentation 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 Babarou. 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 qui est estimée à **30l/jr/UBT**.

III.5.1.3. 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 :

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

✚ 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) et GOTTSCHALK.

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

III.5.1.4. 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.5.2. Etudes techniques du barrage

III.5.2.1. 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 :

$$E = H + h + R \quad \text{Avec } H : \text{ la hauteur de la retenue (m)}$$

$$h : \text{ la charge au-dessus du déversoir (m)}$$

$$R : \text{ revanche (m)}$$

✚ 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 :

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

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

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

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

✚ 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 :

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

$$\text{Avec } A : \text{ coefficient de sécurité (égale à } 10u^2)$$

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

Pentes 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 5 ci-après qui donne quelques valeurs qui devront être confirmées par une étude de stabilité :

Tableau 5 : 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 aval, 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.

III.5.2.2. 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 déversante 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 1 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 kN/m³, 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

$$:P_t = \frac{1}{2} \gamma h^2 \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \text{ Avec } \gamma : \text{Poids volumique des sédiments}$$

h : 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 :

$\gamma_w(H + \frac{2}{3} * (H - h))$ Avec γ_w : 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 ($\tan \varphi$). 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. $F_r = \frac{\text{Moment } \sum(W-Pi)}{\text{Moment } \sum(Pe+Pt)} = > 1,5$

➤ 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 dissipateur d'énergie a pour rôle de dissiper l'énergie de l'eau de déversement et d'éviter les affouillements dangereux à l'aval du barrage. 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 permette 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 : $Fr = V_1/\sqrt{gy_1}$

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. ETUDES DE BASE

IV.1.1. Etude topographique

L'étude topographique menée sur le site du barrage de Babarou a permis :

- le report des informations recueillies sur le terrain en coordonnées x, y, z (terrain naturel, sommets des polygonales, courbes de niveau, ouvrages existants) ;
- l'établissement du plan d'ensemble du site à l'échelle 1/ 2000ème ;
- l'établissement du profil en long de l'axe de la digue ;
- la mise en place de huit bornes repères dont les cotes sont les suivantes.

Tableau 6 : Coordonnées de points de références

Points	X	Y	Z
B1	436 555,14	1 006 139,82	297,87
B2	436 526,03	1 005 993,13	299,96
B3	436 376,97	1 005 976,01	300,92
B4	436 227,31	1 005 959,04	300,42
B5	436 229,77	1 006 060,61	296,04
B6	436 224,22	1 006 121,85	297,60
B7	436 267 ,05	1 006 119,25	296,61
B8	436 316,71	1 006 116,24	296,36

La superficie globale levée est de 6 ha.

IV.1.2. Etude géotechnique

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 3 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. des essais ont été faits sur ce matériau et confirment de sa qualité ;
- les matériaux latéritiques, situés dans une carrière à environ 1,5 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 6 km du site ;
- les graviers et moellons sont disponibles en grande quantité dans des carrières à environ 9 km sur la route de Tchaourou.

IV.1.3. Etude pluviométrique

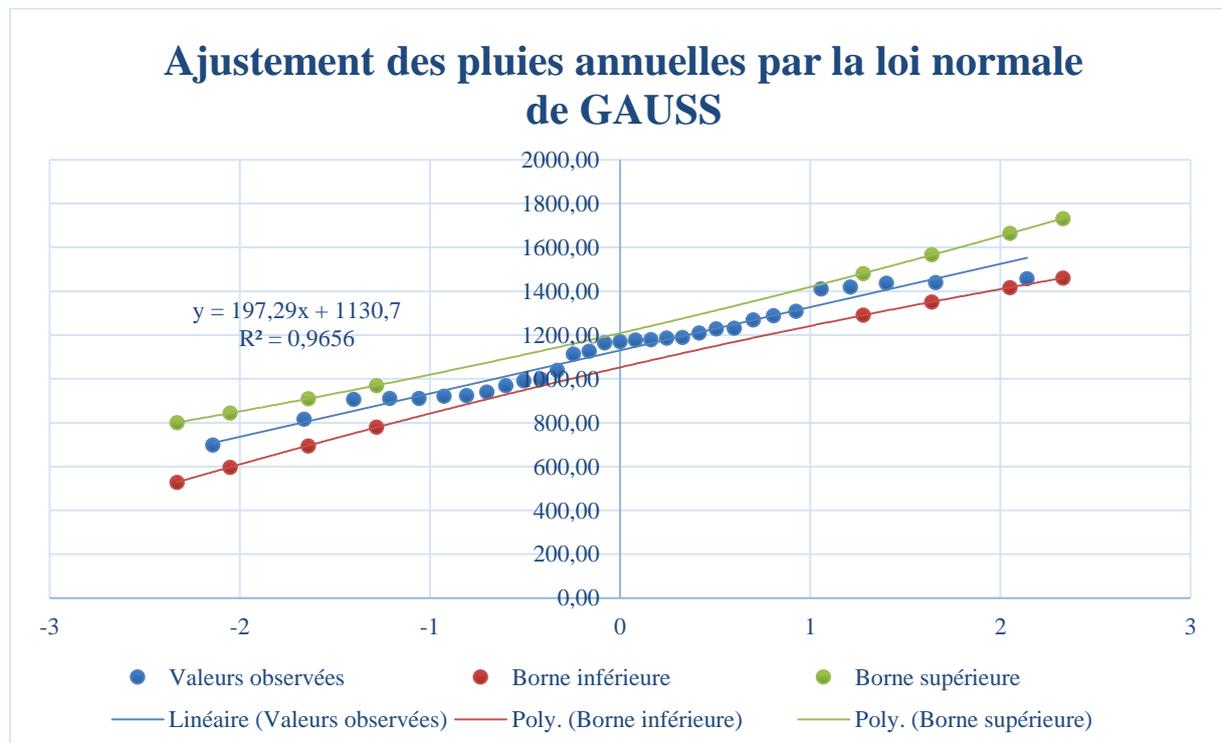
Après le traitement des données, nous avons obtenu les résultats qui se présentent comme suit :

✚ 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 de l'analyse 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 Tchaourou

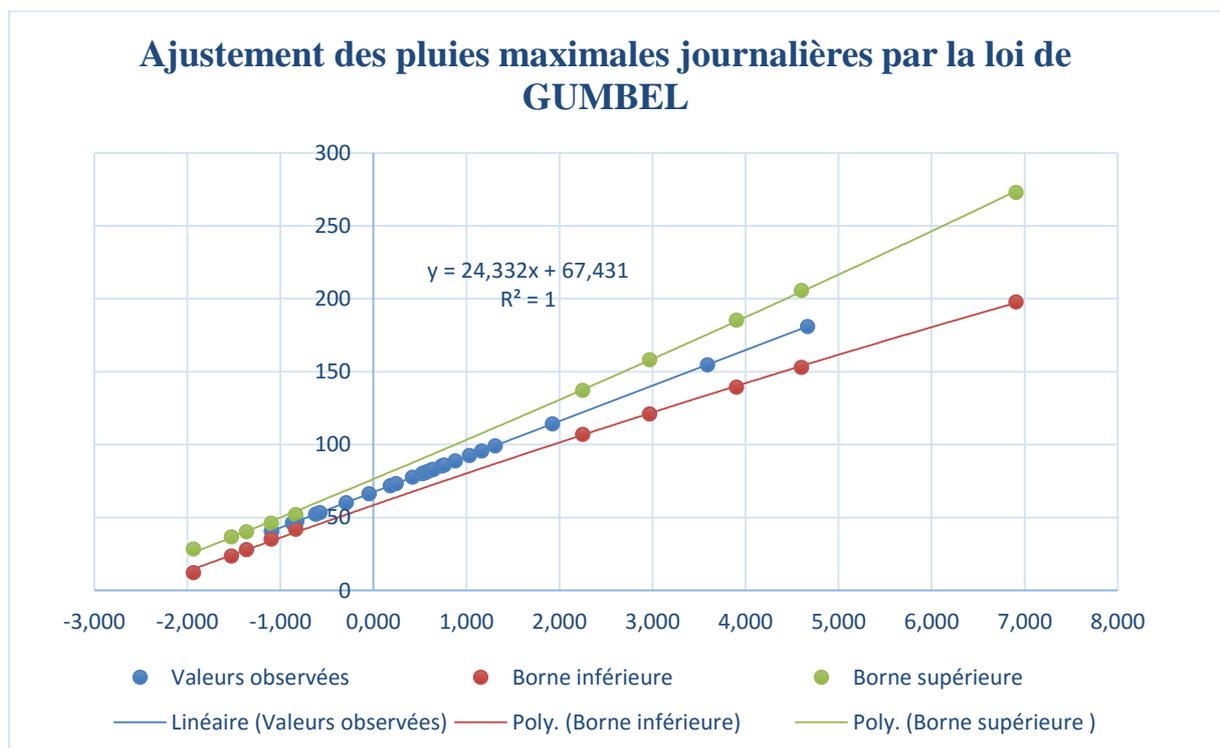
Les détails de calculs sont en Annexe I, voir en page 58.

☒ 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 maximales journalières 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 journalières maximales de Tchaourou

Pour plus de détails, voir Annexe I, en page 59.

✚ 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 Babarou tels que la superficie et le périmètre obtenus par modélisation sont respectivement de **10,7 km²** et de **20,6 km**. Il est classé parmi les petits bassins de superficies comprises entre 10 à 200 km².

Les limites du bassin versant et le réseau hydrographique sont visibles sur la Figure 2 ci-dessous :

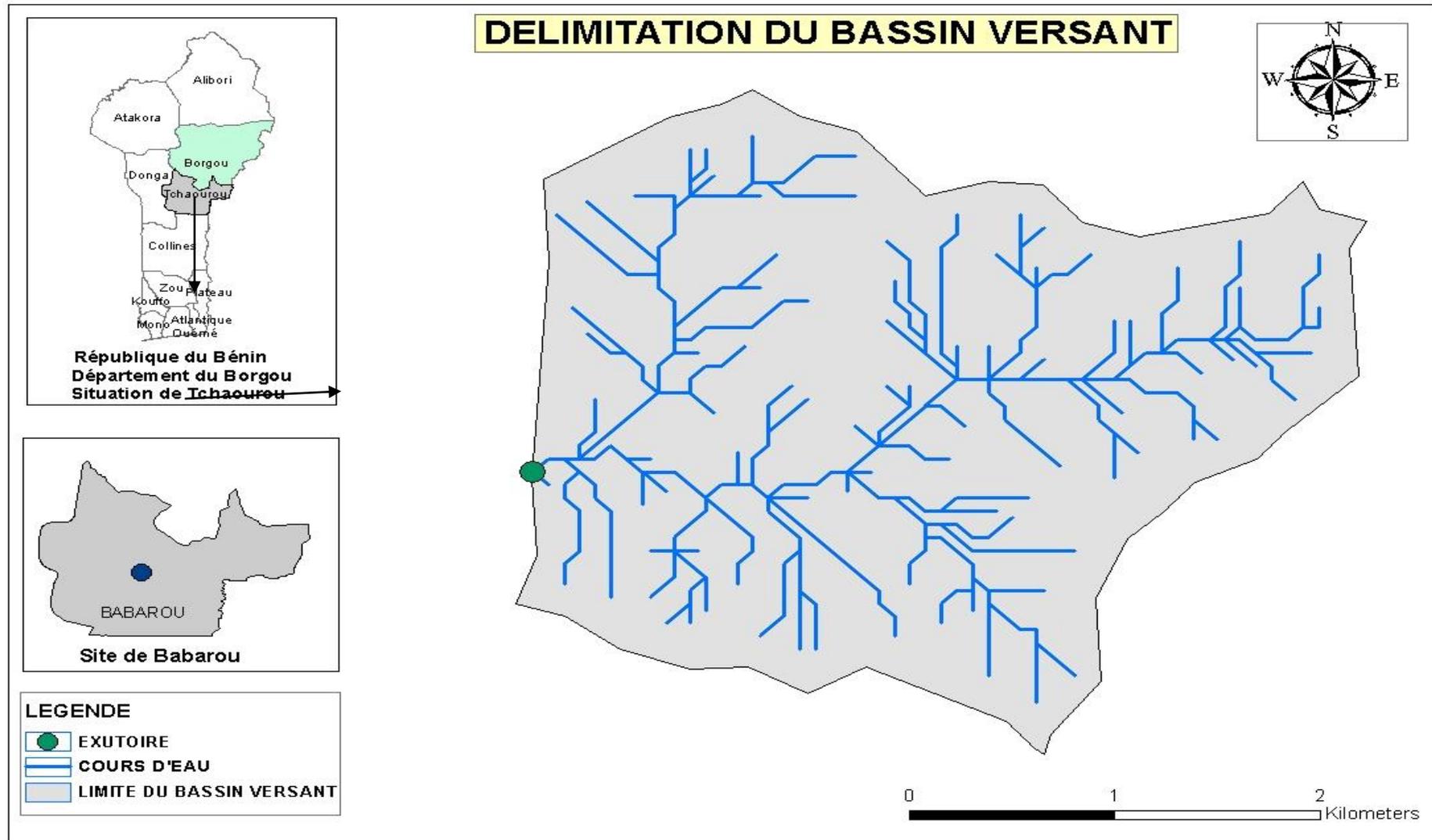


Figure 2 : Bassin versant alimentant le barrage de Babarou

Les coordonnées de l'exutoire sont :

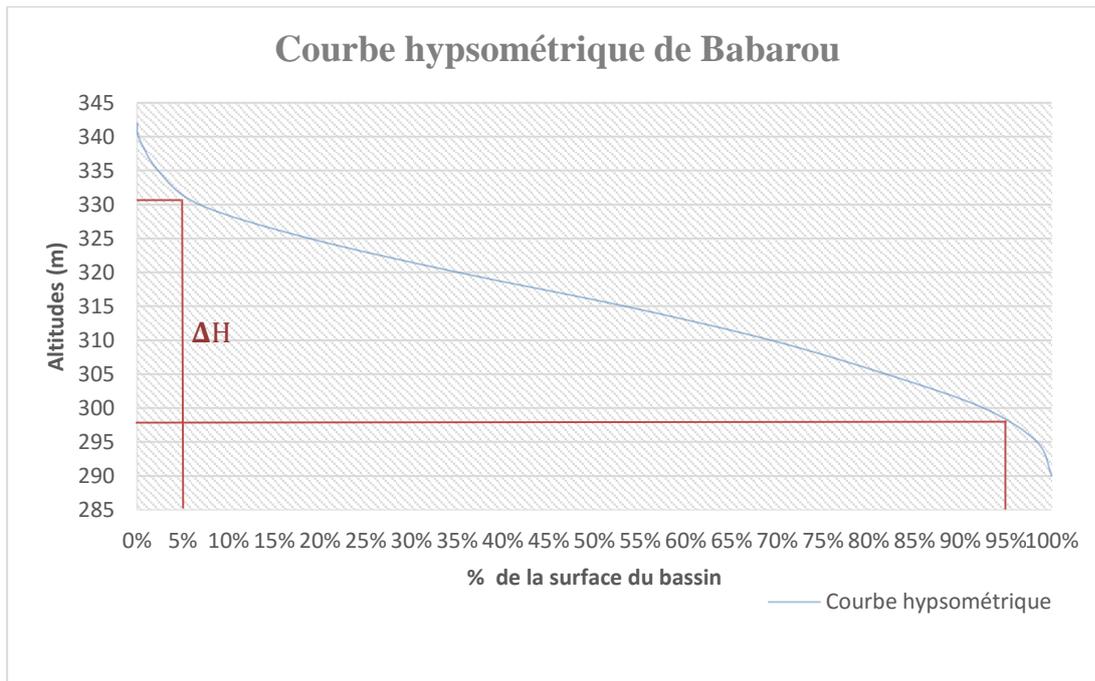
Longitude : 2°25'10.77"E

Latitude : 9° 6'3.29"N

Selon la localisation qui a été faite, le barrage de Babarou sera construit sur le cours d'eau **Ménia**.

✚ 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 $H_{5\%} = 332,0$ m et $H_{95\%} = 297,9$ 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	10,7	km ²
Périmètre	P	20,6	km
Côte à 5%	H5%	332	m
Côte à 95%	H95%	297,9	m
Dénivelée	D	34	m
Abattement	A	0,88	-

Compacité	Icomp	1,77	
Longueur du rectangle	Lrect	9,13	Km
Longueur du réseau	L	6,29	Km
Pluie moyenne décennale	Pm10	121,30	mm
Pente	Ig	3,73	m/Km
Pente transversale	It	1,76	
Pente corrigée	Igcorr	3,077	m/Km
Densité spécifique	Ds	10,06	m
Densité de drainage	Dd	0,5881271	km

Le bassin versant de Babarou est de forme allongé car $I_{comp}=1,77 > 1$, 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 ; voir en page 61.

IV.2.2. Prédétermination des crues

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

Tableau 11 : Paramètres de calcul du débit de crue

Paramètres	Temps de base T_b (mn)	Temps de monté T_{m10} (mn)	Coefficient de ruissellement décennal K_{r10} (%)
Valeurs	1067,21	352,18	36,40%

Période de retour

En utilisant la formule de DEGOUTTE (1997) pour un dimensionnement allant dans le sens de la sécurité, nous trouvons $H^2\sqrt{V}=7,89$ 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.

✚ Début de crue

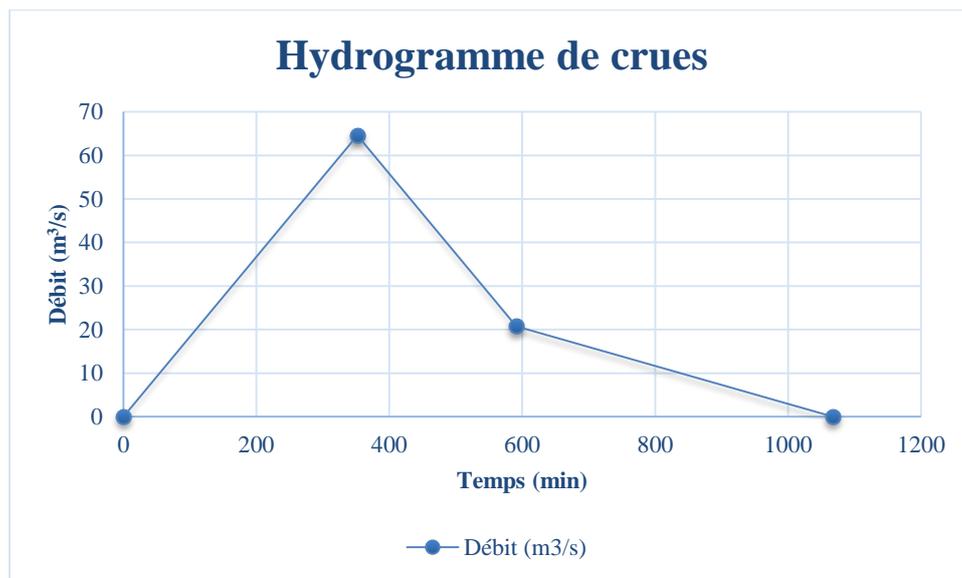
L'utilisation des méthodes d'ORSTOM et CIEH nous a permis d'obtenir des crues décennales et nous retiendrons la valeur la plus grande à laquelle nous allons appliquer la méthode du Gradex pour obtenir le débit centennal (débit du projet).

Tableau 12: Tableau de synthèse du débit de crue

Méthode	CIEH	ORSTOM	Gradex		
Débit en m ³ /s	Q10	Q10	Q10	C	Q100
	25,91	20,14	25,9	2,5	64,56

✚ 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 Babarou est celui de Binndé (Burkina Faso), dont les caractéristiques sont : $S = 9,1 \text{ km}^2$; $D_s = 20\text{m}$ (relief assez faible), $D_d = 2,66 \text{ km/km}^2$; $P_{med} = 920 \text{ mm}$; $K_{med} = 15\%$.

Les résultats obtenus sont dans le Tableau 13 suivant :

Tableau 13: Apports liquides du bassin versant

Période de retour (année)	Pluviométrie (mm)	Log(Lmed) calculée	Lame écoulee (mm)	Ke (%)	Superficie (Km ²)	Apports liquides (m ³)
Période Humide						
100 ans	1 732,27	2,68	483,93	15%	10,70	2 780 290,21
10 ans	1 481,58	2,62	420,32			2 377 938,14
Année moyenne						
	1 130,68	2,38	238,29	15%	10,70	1 814 743,99
Période sèche						
100 ans	800,43	2,53	340,19	15%	10,70	1 284 691,29
10 ans	969,67	2,46	291,44			1 556 321,56

En année moyenne, le barrage peut mobiliser **1 814 744 m³** et en année sèche, un volume de **1 556 322 m³**.

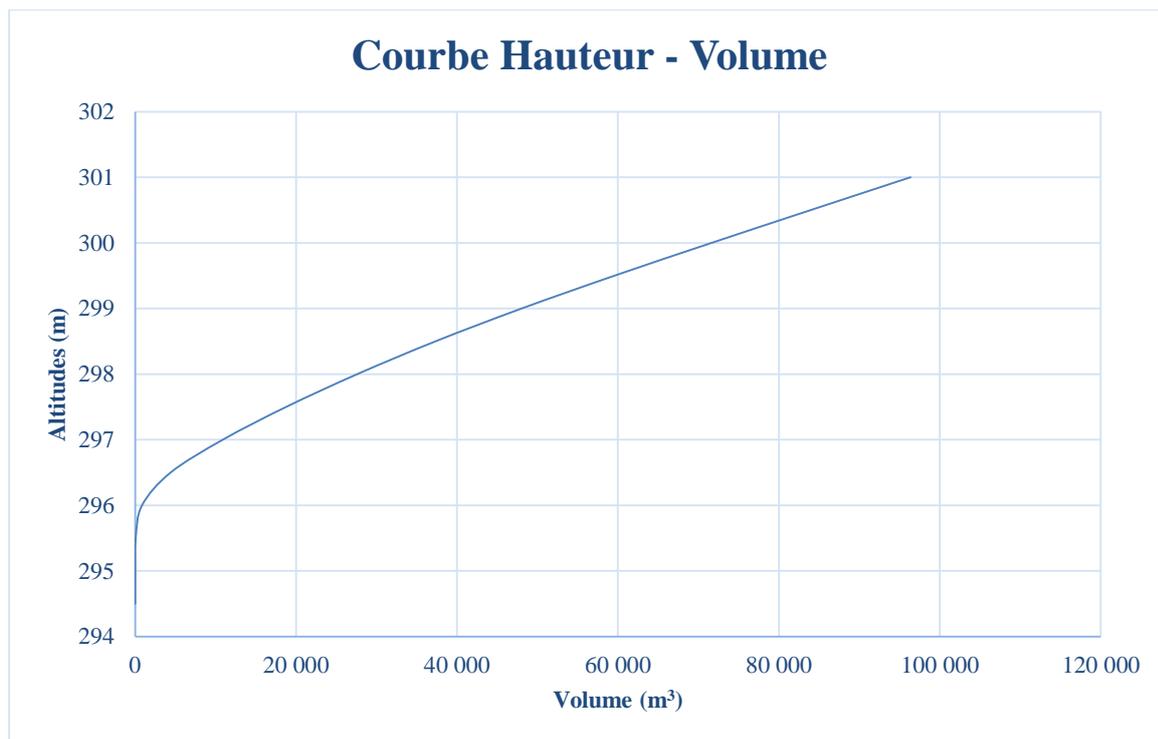
Pour plus de détails, voir Annexe II ; en page 62.

IV.3. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE

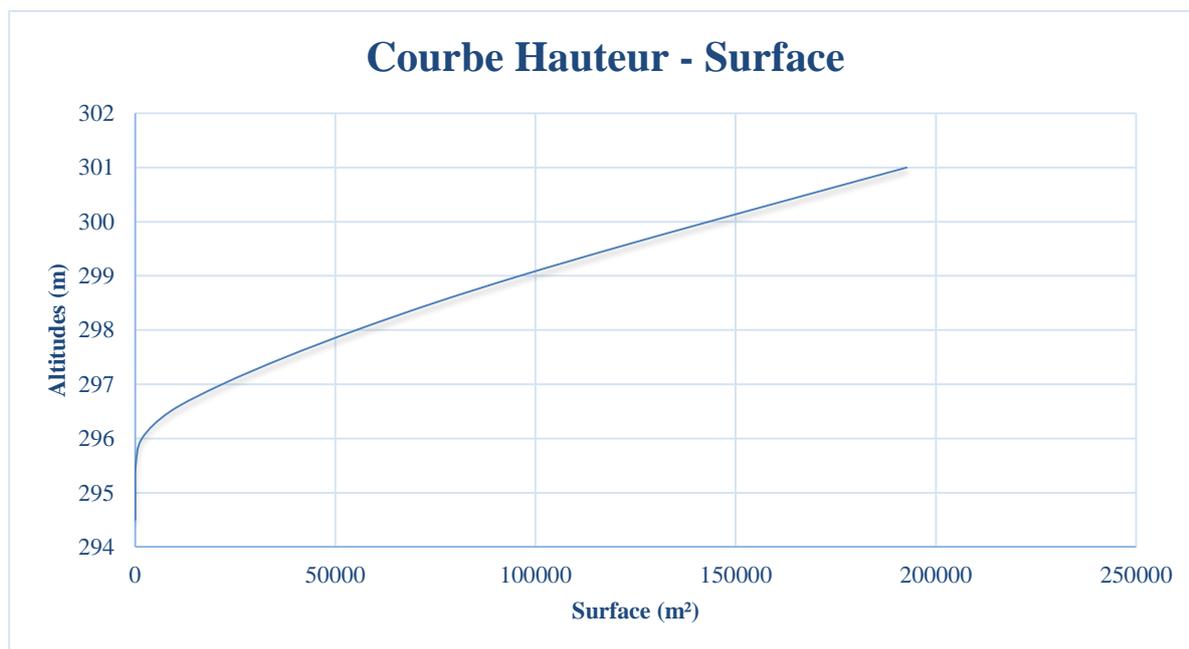
IV.3.1. Etude de la retenue

IV.3.1.1. Courbes hauteur – volume – surface

Les courbes hauteur-volume et hauteur-surface ont été obtenues en estimant les surfaces moyennes avec des pas de hauteur 0,5 m.



Graphique 5 : Courbe Hauteur – Volume



Graphique 6 : Courbe Hauteur – Surface

On retiendra **299 m** comme côte de calage du déversoir. Ce qui correspond à un volume de **48 042 m³** pour une superficie au plan d'eau normale de **96 085 m²**. Au regard des apports annuels moyens, nous sommes assurés du remplissage de la retenue (Voir en page 65).

IV.3.1.2. Evaluation des besoins

Le barrage de Babarou est construit en vue de constituer une réserve d'eau qui puisse satisfaire les besoins agricoles, pastoraux, 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 détails en page 65).

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 ³)	Besoins domestiques (m ³)	Besoins pastoraux (m ³)
Novembre	1 458,89	1 020	1 591,44
Décembre	2 568,87	1 020	1 591,44
Janvier	3 803,80	1 020	1 591,44
Février	4 118,69	1 020	1 591,44
Mars	3 087,04	1 020	1 591,44

Les besoins totaux pour la période sèche sont donc estimés à **28 094 m³**.

IV.3.1.3. Estimation des pertes

✚ Perte par infiltration

Les pertes par infiltration ont été estimées à **2 mm/jrs**. En supposant que tous les mois comptent 30 jours, les infiltrations mensuelles sont de **60 mm** et celles annuelles de **720 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	104,86
Février	96,93	101,13
Mars	103,48	105,19
Avril	89,72	96,53
Mai	71,74	84,38

Juin	54,91	71,83
Juillet	46,50	64,99
Aout	41,43	60,63
Septembre	42,37	61,45
Octobre	52,63	70,02
Novembre	70,66	83,61
Décembre	93,31	98,84

✚ Pertes par dépôts solides

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

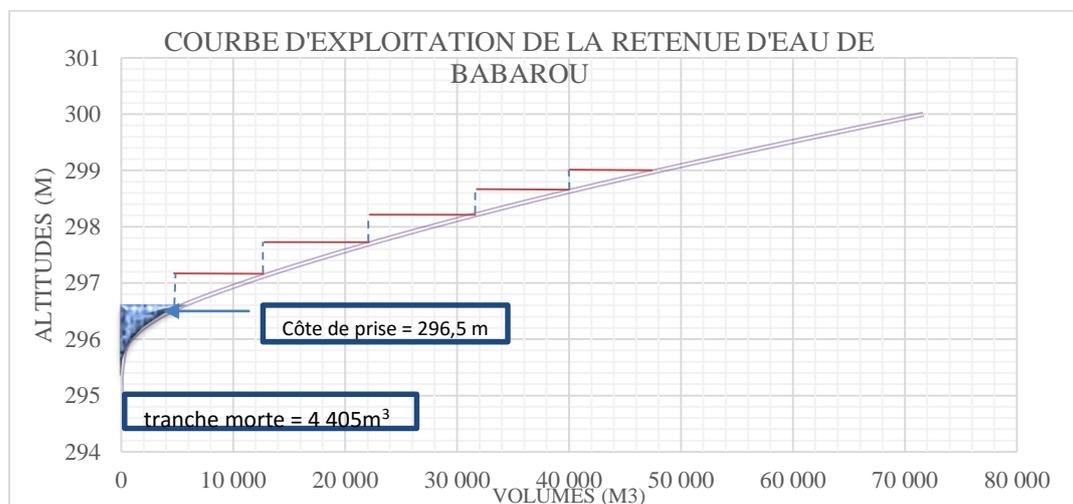
Tableau 16 : Estimation du volume des sédiments

Formules	D (m ³ /km ² /an)	V (m ³ /an)
GOTTSCHALK (USA)	205,13	2 194,92
EIER - CIEH (GRESILLON)	91,74	981,59

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 **1 588,26 m³/an**, la durée d'envasement de la totalité du barrage est d'environ **30 ans** supérieurs à 10 ans. Le projet est donc acceptable.

IV.3.1.4. Courbe d'exploitation de la retenue

Le graphique 7 ci-dessous représente la courbe d'exploitation de la retenue. Les détails de calculs sont reportés en Annexe II voir en page 67.



Graphique 7 : Courbe d'exploitation de la retenue

IV.3.2. Etudes techniques du barrage

IV.3.2.1. Dimensionnement des digues de barrage

La digue du barrage de Babarou sera homogène en argile et muni de drain qui aura pour effet de rabattre la ligne phréatique à l'intérieure du remblai (voir en page 67).

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

Tableau 17 : Caractéristiques de la digue

Paramètres	Valeurs
Longueur de la digue	170 m
Côte de calage du déversoir	299 m
Revanche	1 m
Côte de la crête de la digue	301 m
Hauteur maximale de la digue	6 m
Largeur en crête de la digue	4 m
Pente des talus	1V/2H

✚ Protection de la digue

La protection de la digue se présente comme suit :

- sur le talus amont, nous avons opté pour une protection en enrochement constituée de perré rangé à la main d'une épaisseur de 45cm ;
- le talus aval (enherbé) sera protégé par des plante disponibles sur le site appelées « cynodon » ou « chiendent pied de poule ». c'est une espèce de gazon rustique qui demande peu d'entretien dont la tendance à couvrir le sol permet de protéger efficacement le talus aval de notre digue ;
- la crête de la digue sera protégée par une couche de couronnement de 30 cm d'épaisseur en matériaux latéritiques.

✚ 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 $y_0 = 0,93m$;
- le débit de fuite est $q = 4,64 * 10^{-07} (m^3/s)$;
- et l'épaisseur du drain est de 40 cm.

La Figure 3 ci-dessous nous permet de visualiser la ligne phréatique.

INFILTRATION DANS LA DIGUE

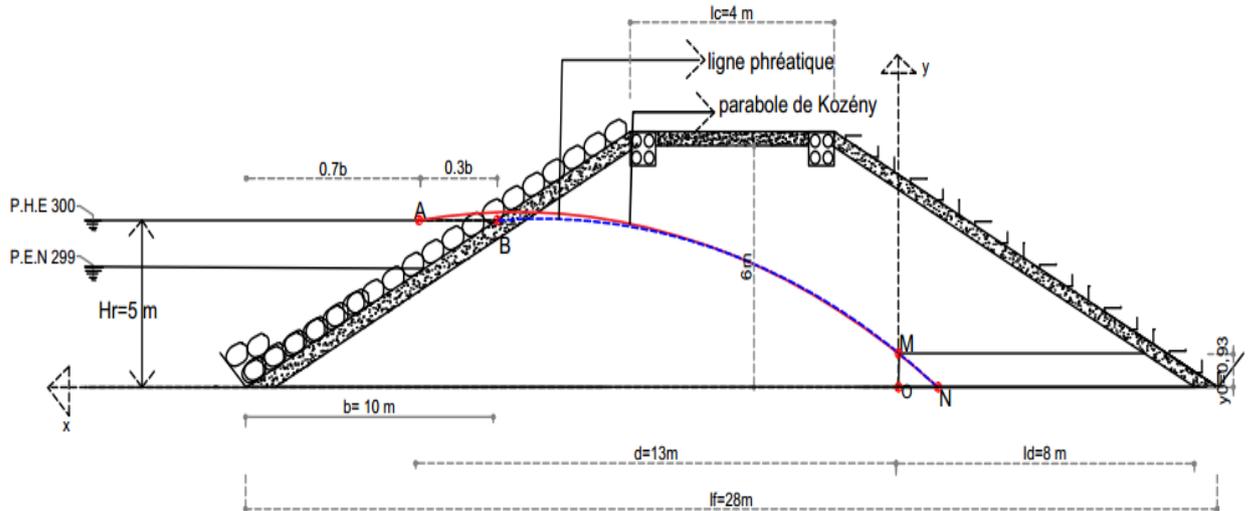


Figure 3 : Représentation de la ligne phréatique

✚ 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 supérieur à 1,5 lorsque la retenue se trouve aux PHE. Nous concluons donc que les talus de notre barrage sont stables.

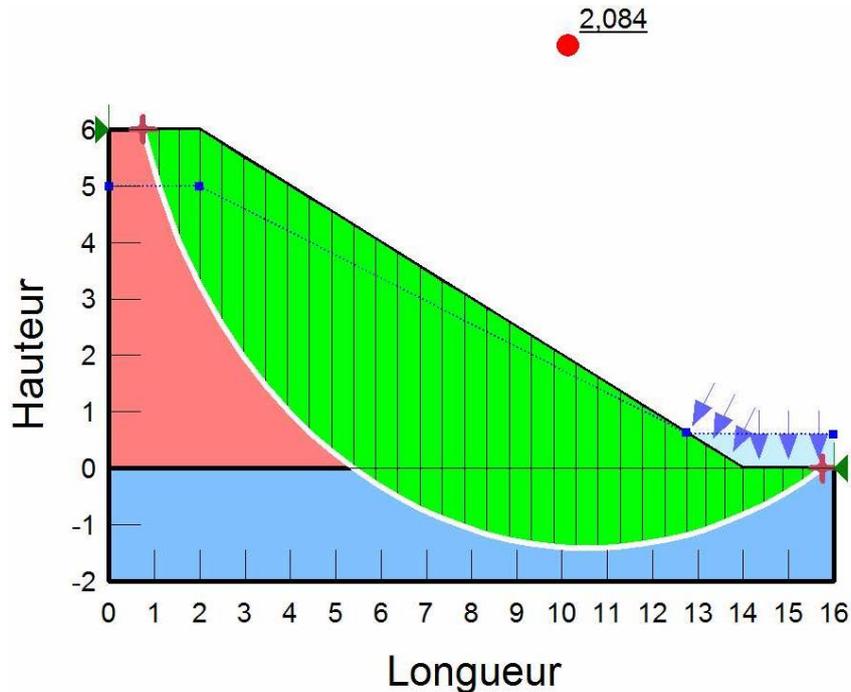


Figure 4 : Etude de stabilité des talus

IV.3.2.2. 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 Babarou sera constitué d'un déversoir en position latérale gauche à l'aval duquel on aura un chenal d'évacuation et un bassin de dissipation (Détails en page 70).

Déversoir

❖ Longueur du seuil déversant

Le laminage de crue a conduit à un déversoir long de 30 m présentant une lame d'eau de 1 m. Le débit laminé en fin de simulation est de $62,8\text{m}^3/\text{s}$.

❖ 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 18 : Vérification de la stabilité du déversoir

Stabilité	Paramètres	Valeurs	Vérification
Glissement	Coefficient de sécurité F_g	1,21	$F_g > 1,2$
Renversement	Coefficient de sécurité F_r	1,79 m	$F_r > 1,5$
Règle du tiers central	Excentricité e	- 0,01 m	$b/6=0,50\text{m}$ $-b/6 \leq e \leq b/6$
Contraintes limite du béton	Contrainte maximale σ_{Max}	34,8 kPa	$\sigma_{Max} < F_{c28} = 6 \text{ MPa}$

Toutes les conditions sont vérifiées. On conclut que le déversoir est stable.

✚ Mur bajoyer

❖ Dimensionnement du mur bajoyer

Le dimensionnement des murs bajoyers a été fait avec le logiciel CYPE et les caractéristiques géométriques du mur sont dans le Tableau 19 ci-dessous :

Tableau 19 : Caractéristiques géométriques du mur bajoyer

	Désignations	Valeurs
Mur	Hauteur	3,5 m
	Epaisseur supérieure	25,0 cm
	Epaisseur inférieure	35,0 cm
Semelle filante	Epaisseur	50 cm
	Longueur du patin	105 cm
	Longueur du talon	105 cm

❖ Vérification de la stabilité du mur

Nous avons vérifié avec notre classeur Excel la stabilité du mur bajoyer. Le Tableau 20 suivant présente les résultats de la stabilité du bajoyer.

Tableau 20 : vérification de la stabilité du mur bajoyer

Stabilité	Paramètres	Valeurs	Vérification
Glissement	Coefficient de sécurité F_g	2,55	$F_g > 1,2$
Renversement	Coefficient de sécurité F_r	1,71	$F_r > 1,5$
Stabilité au poinçonnement	Contrainte maximale σ_{Max}	0,11 MPa	$\sigma_{Max} < \sigma_{adm} = 0,15$ MPa

✚ Chenal d'évacuation

Le rôle du chenal est de restituer la crue laminée à l'aval du barrage. Sa pente a été estimée à 2‰ et le fruit de berge de 1. Avec un coefficient de Manning Strickler de 60, une largeur considérée égale à celle du déversoir soit 30 m, un débit égal au débit laminé, la profondeur d'eau normale calculée est de 0,86 m.

Des diguettes de protection seront placées de part et d'autre du chenal d'évacuation afin de protéger les berges, de prévoir tout débordement dans le chenal. Les diguettes seront de forme

trapézoïdale, avec une largeur en crête de 2 m pour une base de 4 m (talus en pente 1/1). Ces diguettes seront confectionnées en matériau argileux légèrement compacté.

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.

Le nombre de Froude calculé est de 3,62 étant inférieur à 4.5 et la vitesse inférieure à 15 m/s, nous avons un bassin de type I. Pour être sûr de contenir le ressaut, 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 : 0.32 m ;
- profondeur à la sortie du ressaut : 1,5 m ;
- longueur du bassin : 3,5 m.

Ouvrage de prise

Nous avons opté pour un ouvrage de prise par siphonage car cette option présente des avantages non négligeables. C'est une solution nécessitant un investissement inférieur au coût d'une conduite enterrée de même capacité. L'installation d'un siphon ne présente guère de difficulté et il n'induit pas de risque d'infiltrations privilégiées contrairement à la conduite enterrée. Il correspond parfaitement à notre digue qui a une hauteur de 6m qui est inférieur à la hauteur d'aspiration qui est limitée 8 m au maximum.

Le prélèvement d'eau pour l'abreuvoir et l'aire de lessive sera donc assuré par un ouvrage de prise qui sera à la côte 296,5 m et constitué d'une conduite de $\Phi 90$ mm de diamètre.

V. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET DEVIS ESTIMATIF DU PROJET

V.1.ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

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

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 Babarou auront des impacts aussi bien positifs que négatifs sur les milieux biophysiques et socio-économiques. Ces impacts sont énumérés en **ANNEXE IV voir en page 77** .

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

V.2.DEVIS ESTIMATIF DU PROJET

Tableau 21 : Devis estimatif du projet

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT
0	TRAVAUX PREPARATOIRES				
0.1	Installation de chantier et repli du matériel	ff	1	5 000 000	5 000 000
0.2	Implantation	ff	1	2 500 000	2 500 000
	Sous-total 0				7 500 000
I	TERRASSEMENT				
1.1	Débroussaillage, abattage des arbres et mise au propre de la cuvette	ha	5	700 000	3 500 000
1.2	Déblais avec engin pour tranchée d'ancrage	m ³	977	3 500	3 418 465
1.3	Fouille à la main pour mur de crête	m ³	43	3 500	148 750
1.4	Déblais avec engin pour raccordement cuvette-chenal évacuateur de crue, chenal évacuateur et bassin de dissipation	m ³	7 075,24	2 500	17 688 094
1.5	Remblai compacté pour tranchée d'ancrage	m ³	977	5 000	4 883 522
1.6	Remblai compacté pour digue	m ³	6 655,24	5 000	33 276 189
1.7	Remblais compactés couche couronnement	m ³	204	5 000	1 020 000
	Sous-total I				63 935 020
II	PROTECTION ET EMPIERREMENT				
2.1	Muret de crête dosé à 300 kg/m ³	m ³	43	95 000	4 037 500
2.2	Pose de terre végétale talus aval	m ³	500,25	2 000	1 000 506
2.3	Enherbement talus aval	m ²	500,25	800	400 203
2.4	Pose de matériaux de transition talus amont	m ³	375,19	2 500	937 975
2.5	Enrochement talus amont	m ²	1 119,71	4 000	4 478 844
2.6	Perrés maçonnés jonction talus amont-bajoyer	m ²	131	6 000	785 531
2.7	Butée de pied amont	ml	170	2 000	340 000
2.8	Drain de pied aval	ml	170	2 000	340 000

	Sous-total II				12 320 558
III	EVACUATEUR LATERAL ET EPI				
3.1	Fouille à main d'homme pour déversoir et murs bajoyer	m ³	52,86	3 500	185 010
3.2	Béton armé dosé à 300 kg/m ³ pour déversoir et murs bajoyers	m ³	206,526	95 000	19 619 970
3.5	Fouille à main d'homme pour coursiers et bassins de dissipation	m ³	157,5	3 500	551 250
3.6	Filtre de sable sous bassin de dissipation et coursier	m ³	10,5	6 000	63 000
3.7	Béton armé dosé à 300 kg/m ³ pour coursiers et bassins de dissipation	m ³	147	95 000	13 965 000
3.8	Joint de mastic bitumineux	ml	31,44	7 500	235 800
3.9	Protection perrés maçonnés	m ²	600	6 000	3 600 000
3.10	Protection perrés secs	m ²	1 500,00	3 500	5 250 000
3.11	Remblai compacté pour épi de protection	m ³	420	5 000	2 100 000
	Sous-total III				45 570 030
V	DIVERS				
4.1	Mise en place d'une prise d'eau par siphonage avec canalisation de distribution	ff	1	3 200 000	3 200 000
4.2	Construction d'abreuvoirs en béton	U	2	300 000	600 000
4.3	Aménagement d'une aire de lessive-vaisselle	ff	1	400 000	400 000
4.4	Echelle limnimétrique	ml	4	65 000	260 000
	Sous-total IV				4 460 000
	TOTAL GENERAL (HT)				133 785 608

CONCLUSIONS

La réalisation du barrage de Babarou dans la commune de Tchaourou initiée par Caritas-BDBD entrant dans le cadre du Projet « construction et de valorisation des retenues d'eau dans l'Archidiocèse de Parakou » revêt d'une importance capitale.

C'est un barrage à vocation agro pastorale qui permettra de contribuer au développement socio-économique de la localité à travers la promotion de diverses activités telles que l'agriculture, la pêche et l'élevage.

Au plan environnemental cette retenue aura une influence positive sur le climat local grâce à la création d'un écosystème favorable au développement de la faune et de la flore et permettra également de recharger la nappe.

Au terme de notre étude, la retenue permettra de stocker environ 48 000 mètres cubes d'eau pour un cout global de **133 785 608 FCFA**. Cette capacité permet de satisfaire les besoins pastoraux, domestiques et d'irrigation d'une superficie de 2 ha.

Après les étapes d'étude et d'exécution du barrage, il revient donc aux bénéficiaires de tirer profit de cet ouvrage qui est mis à leur disposition et surtout de s'impliquer dans sa gestion.

RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES

La hauteur maximale du barrage étant de 6m, il sera classé dans la catégorie des petits barrages. De ce fait, nous opterons pour un dispositif de sécurité, de surveillance et d'entretien assez léger.

La sécurité

Nous proposons un dispositif végétatif en amont pour délimiter la bande de servitude tout autour de la cuvette à un rayon de 100 m.

La surveillance

Elle comporte :

- L'observation visuelle de routine. Elle a pour objectif de déceler rapidement tout phénomène nouveau affectant le barrage tel que les fuites localisées, le creusement de ravines sur les parements amont et aval, les points bas sur la crête du remblai, les désordres sur le perré amont (pierres déplacées, désagrégées...) la végétation arbustive sur les talus et près du pied aval etc.
- L'observation à l'occasion des crues. En effet, c'est lors des crues que les barrages sont soumis aux sollicitations les plus sévères : côte du plan d'eau élevée, débits importants sur le déversoir, ruissellements sur les parements. Une observation renforcée s'impose donc dans ces occasions.
- Les mesures d'auscultation. Elle consiste à mesurer la cote du plan d'eau et se fait par simple lecture du limnimètre. Elle ne demande donc aucun appareillage particulier.

L'entretien

Les travaux les plus courants à faire dès que nécessaire sont

- Le comblement des ravines ;
- L'entretien des perrés ;
- L'enlèvement de la végétation arbustive ;
- L'entretien de surface des maçonneries.

Des plus gros travaux d'entretien seront envisagés dans des cas particuliers qui nécessitent une expertise préalable par un ingénieur spécialisé, qui définira les éventuelles reconnaissances complémentaires et surtout les travaux de réparation à entreprendre.

BIBLIOGRAPHIE

- G. Pilot, G. Cartier. « BLPC Dignes et Barrages en Terre de Faible Hauteur », 1984.
- Akomagni, Lazare A., et E. Guidibi. « Monographie de la commune de Cotonou ». *Afrique Conseil*, Avril, 2006.
- Alain CASENAVE, et Christian VALENTIN. « Les états de surfaces de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration ». ORSTOM, PARIS 1989.
- 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 du Borgou », 2016.
- DIRECTION DES ETUDES DEMOGRAPHIQUES. « Effectif de la population, RGPH 4 », 2015.
- J. RODIER, et C. AUVRAY. « Estimation des débits de crue décennales ». ORSTOM, 1989.
- Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Eau. « Atlas hydrographique du Bénin », 2008.
- 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.
- Moussa LO. « COURS DE BARRAGE 1 », 2016.
- Patrick Le Delliou. « Les Barrages - Conception et Maintenance ». PRESSES UNIVERSITAIRES DE LYON, 2007.
- Ph Reiffsteck. « Stabilité des pentes », s. d.

ANNEXES

Sommaire des annexes

ANNEXE I : ETUDE PLUVIOMETRIQUE.....	58
ANNEXE II : ETUDE DES APPORTS LIQUIDES	61
ANNEXE III : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE	65
ANNEXE IV : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE	77
ANNEXE V : DEVIS QUANTITATIF DU PROJET	80
ANNEXE VII : PLANS	84

Liste des tableaux des annexes

Tableau 22 : Analyse des séries de pluies annuelles	58
Tableau 23 : Résultats de l'ajustement des séries de pluies annuelles.....	59
Tableau 24 : Analyses des séries de pluies maximales journalières	59
Tableau 25 : Résultats de l'ajustement des séries de pluies maximales journalières.....	60
Tableau 26 : Détermination de T_b	62
Tableau 27 : Détermination de kr_{10} par la méthode d'ORSTOM.....	63
Tableau 28 : Débit de pointe décennal par la méthode de CIEH	64
Tableau 29 : Détermination des surfaces et des volumes.....	65
Tableau 30 : Estimation des besoins agricoles	66
Tableau 31 : Estimation des besoins domestiques	66
Tableau 32 : Estimation des besoins pastoraux.....	67
Tableau 33: Simulation de la retenue	67
Tableau 34 : Calcul de la longueur du seuil déversant.....	71
Tableau 35 : Résultats (stabilité par rapport au point B).....	72
Tableau 36 : Résultat de l'étude de stabilité du bajoyer	73
Tableau 37 : Détermination de la profondeur y_n dans le chenal.....	74
Tableau 38 : Caractéristiques du bassin de dissipation	76
Tableau 39 : Identification des impactes.....	77
Tableau 40 : Evaluation des impactes	78
Tableau 41 ; Mesures d'atténuation	78
Tableau 42 : Surface emprise de la digue du barrage de Babarou	80
Tableau 43 : Surface de talus de la digue du barrage de Babarou	81
Tableau 44 : Quantités des remblais de corps de la digue du barrage de Babarou	81
Tableau 45 : Estimation des profondeurs de tranchée d'ancrage de la digue du barrage de	

Babarou	82
Tableau 46 : Quantités de déblais de tranchée d'ancrage de la digue du barrage de Babarou	82
Tableau 47 : Quantités de matériau pour la pose du filtre horizontal de la digue du barrage de Babarou	83

Liste des figures des annexes

Figure 5 : Abaque de la méthode du x_0	70
Figure 6 : Abaque de validation du x_0	70
Figure 7: Vérification de la stabilité du déversoir	71
Figure 8 : vérification de la stabilité du mur bajoyer	73
Figure 9 : Abaque de détermination de la profondeur du bassin de dissipation	75
Figure 10 : Caractéristiques des chicanes et des blocs de chutes.....	76
Figure 23 : Profil en travers type de la digue de Babarou	84
Figure 24 : Profil en long de la digue de Babarou	84
Figure 25: Déversoir et chenal évacuateur	85
Figure 26: Prise d'eau par siphonage.....	85
Figure 27 :Profil type du mur bajoyer	86
Figure 28: Plan de ferrailage	86
Figure 29 : Plan de masse de la cuvette du barrage de Babarou	87

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 séries de pluies 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 séries de pluies 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.

Tableau 24 : Analyses des séries de pluies maximales journalières

Année	valeurs observées	ordre croissant	Rang	variable réduite (u)	Fonction de répartition F(x)
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>x_p</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

Le bassin versant à une superficie de 10.70 km². Ce bassin est classé parmi les petits bassins ($10 \leq S (km^2) \leq 200$).

✚ Périmètre du bassin versant

Le périmètre du bassin est de 20,6 km.

✚ Forme du bassin versant

Le coefficient de compacité de GRAVELIUS du bassin calculé est le suivant :

$$I_{comp} = 0,282 * P * S^{-\frac{1}{2}} = I_{comp} = 0,282 * 20,6 * 10,7^{-\frac{1}{2}} = 1,77$$

On a un $KG \gg 1$ alors on peut conclure que le bassin est allongé donc favorise les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants.

✚ Longueur du rectangle équivalent

La longueur du rectangle équivalent obtenue est :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4} = L = \frac{20,6 + \sqrt{20,6^2 - 16 * 10,7}}{4} = 9,13 \text{ km}$$

✚ Courbe hypsométrique

L'exploitation de la courbe hypsométrique les altitudes $H_{5\%} = 332\text{m}$ et $H_{95\%} = 297,91\text{m}$.

✚ L'indice de pente global

L'Indice global de pente est calculé comme suit

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = \frac{332 - 297,91}{9,13} = 3,73 \text{ m/km}$$

✚ Indice global de pente corrigé

La pente transversale moyenne du bassin $I_t = 1,76 \text{ m/km}$

La différence entre I_g et I_t est supérieure à 20%. On va donc calculer l'indice global de pente

$$\text{corrigé : } I_{gcor} = \frac{(n-1) * I_g + I_t}{n} = \frac{(3-1) * 3,73 + 1,76}{3} = 3,077 \text{ m/km .}$$

On retiendra l'indice de pente corrigé de 3,077 m/km pour la suite des travaux.

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

✚ La densité de drainage

La densité de drainage est calculée comme suit $Dd = \frac{\sum Li}{S} = \frac{6,29}{10,7} = 0,5881 \text{ km}^{-1}$

✚ La dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique est calculée comme suit $Ds = Ig * \sqrt{S} = 3,077 * \sqrt{10,7} = 10,066 \text{ m} < 50 \text{ m}$ donc 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

$$A = 1 - \frac{(161 - 0.042 * Pan)}{1000} * \log S = 1 - \frac{161 - 0.042 * 1130,68}{1000} \log(10.7) = 0.88$$

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

$$Pm10 = A * P10 = 0.88 * 137,36 = 121,3 \text{ mm.}$$

✚ 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 de issus de la détermination de Tb

Tableau 26 : Détermination de Tb

	a	b	Tb(mm)	Tb(h)
Ig=7	163	142	524,62	8,74
Ig=3	325	315	1077,89	17,96
Ig=3,077			1067,21	17,79

✚ Temps de montée (Tm10)

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

$$Tm_{10} = 0,33 * Tb_{10} = ,33 * 1067,21 = 352,18\text{mn ou } 5,87\text{h}$$

✚ Coefficient de ruissèlement décennal (Kr10)

❖ Estimation de Kr10 par la méthode de ORSTOM

Les résultats de détermination de Kr10 présentés dans le Tableau 27 ci-dessous ont été obtenus

à partir de la formule suivante : $Kr_{70} \text{ ou } Kr_{100} = \frac{a}{(s+b)} + c$

Tableau 27 : Détermination de kr10 par la méthode d'ORSTOM

	a	b	c	Kr70(%)	Kr100(%)	Kr10(%)
Ig=7	200	20	18,5	25,01		
	240	30	22		27,90	
Ig=3	150	20	15	19,89		
	200	30	17		21,91	
Ig=3,077				19,98		
					22,03	
						24,57

❖ Estimation de Kr10 par la méthode de CIEH

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 ruissèlement superficiel de la crue décennale est défini par la relation $Qr10 = A * P_{10} * Kr_{10} * \alpha_{10} * S/Tb_{10}$

❖ Débit moyen de la crue

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

$$Q_{m10} = 16.7 * P_{m10} * Kr_{10} * \frac{S}{T_{b10}} = 16.7 * 121,30 * 0,364 * \frac{10.70}{1067,21} = 7,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

❖ Coefficient de pointe décennal α_{10}

Le coefficient de pointe, rapport du débit maximum ruisselé au débit moyen, est défini par la relation : $\alpha_{10} = \frac{Q_{r10}}{Q_{mr10}} = 2.6$

❖ Débit maximum ruisselé Q_{r10}

$$Qr10 = \alpha_{10} * Q_{mr10} = 2.6 * 7,4 = 19,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

❖ **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

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

Ou $Q_{10} = 1.05 * Q_{r10} = 1.05 * 19,2 = 20,14 \text{ m}^3/\text{s}$

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 suivant présente le débit obtenu suivant chaque équation sélectionnée :

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

N°	r ²	r	a	S	Ig	Pan	Pm10	Kr10	Dd	Q(m ³ /s)
26	0,654	0.809	146	0,479			-0,969	0,457		22,47
39	0,818	0,904	0,410	0,425				0,923		30,99
40	0,824	0,908	0,254	0,462	0,101			0,976		28,40
44	0,757	0,870	203	0,459			-1,301	0,813		21,78

En faisant la moyenne des différents débits calculés, on obtient un débit décennal de CIEH qui est $Q_{10} = 25,91 \text{ m}^3/\text{s}$

Nous allons retenir le débit le plus élevé qui est celui de CIEH pour la suite des calculs.

c) La méthode du Gradex

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

Le coefficient majorateur :

$$C = 1 + \frac{P_{100}-P_{10}}{p_{10}} * \frac{(T_b/24)^{0,12}}{Kr_{10}} = 1 + 0,38 * \frac{(1067,21/24)^{0,12}}{0,364} = 2,5$$

$$Q_{100} = C * Q_{10} = 2,5 * 25,91 = 64,56(\text{m}^3/\text{s})$$

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

Cotes	Surface partielle (m²)	H(m)	Surface moyenne(m²)	Volume partiel (m³)	Volume cumulé(m³)	Surface cumulée(m²)
294,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00
295	4,17	0,50	2,08	1,04	1	2,08
295,5	242,89	0,50	123,53	61,76	63	125,61
296	2900,82	0,50	1571,85	785,93	849	1697,46
296,5	11322,70	0,50	7111,76	3555,88	4 405	8809,22
297	14600,46	0,50	12961,58	6480,79	10 885	21770,80
297,5	16925,08	0,50	15762,77	7881,38	18 767	37533,57
298	18486,66	0,50	17705,87	8852,93	27 620	55239,44
298,5	20406,86	0,50	19446,76	9723,38	37 343	74686,20
299	22390,63	0,50	21398,75	10699,37	48 042	96 085
299,5	23761,26	0,50	23075,95	11537,97	59 580	119160,89
300	24543,01	0,50	24152,13	12076,07	71 657	143313,02
300,5	24735,082	0,50	24639,05	12319,52	83 976	167952,07
301	24873,1707	0,50	24804,13	12402,06	96 378	192756,20

b) Evaluation des besoins
✚ Besoins agricoles

L'estimation des besoins s'est faite avec une tomate de 130 jours :

Tableau 30 : Estimation des besoins agricoles

Stade végétatif	initial (30 j)	développement (40j)	mi- saison (40j)		arrière-saison (25j)
Kc par phase	0,45	0,75	1,15		0,80
Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Kc par mois	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80
Eto(mm/j)	4,41	4,07	4,35	4,91	5,91
ETM(mm/j)	1,98	3,05	4,42	5,07	4,73
Pe(mm/j)	0,33	0,13	0,10	0,39	1,22
BMP(mm/j)	1,66	2,92	4,32	4,68	3,51
Ea	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
ØFC	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
ØWP	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
RU (mm/m)	82,00	82,00	82,00	82,00	82,00
Zr (m)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
p	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
RFU (mm)	27,33	27,33	27,33	27,33	27,33
F (j)	16,49	9,36	6,32	5,84	7,79
T (j)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Dr (mm)	4,97	8,76	12,97	14,04	10,52
Vr(m ³)	99,47	175,15	259,35	280,82	210,48
pr (Facteur réel)	0,12	0,21	0,32	0,34	0,26
Db (Dose brute)	6,63	11,68	17,29	18,72	14,03
Vb(m ³)	132,63	233,53	345,80	374,43	280,64
nombre de jours d'arrosage	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
Besoins mensuel (m ³)	1458,89	2568,87	3803,80	4118,69	3087,04

✚ Besoins domestiques

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

Tableau 31 : Estimation des besoins domestiques

Nombre de Ménages 2025	Taille des ménages	Nombre d'habitant	Besoins (l/j)	Besoins (m ³ /j)	Besoins (m ³)
250	6,8	1700	34000	34	1020

✚ Besoins pastoraux

Le Tableau 32 ci-dessous présente les besoins pastoraux :

Tableau 32 : Estimation des besoins pastoraux

	Bovins	Ovins	Caprins	total
Effectifs Tchaourou 2003	25 753	11 775	14 093	
Nbr de plan d'eau	15	15	15	
Nbr de plan d'eau ACTU	16	16	16	
effectifs totaux 2003	1 610	736	881	
Coeff. Conversion UBT	0,70	0,10	0,10	
Taux de croissance	0,02	0,03	0,03	
Effectifs 2018	2 166	1 147	1 372	4 685
Effectifs 2025	2 488	1 410	1 688	5 586
UBT 2018	1 516,38	114,66	137,23	1 768
UBT 2025	1 741,85	141,01	168,77	2 052
Cons Past l/j/UBT	30,00	30,00	30,00	
Besoins en eau 2018 (m3/j)	45,49	3,44	4,12	53
Besoins en eau 2025 (m3/j)	52,26	4,23	5,06	62
Besoins en eau 2018 (m3)	1 591			
Besoins en eau 2025 (m3)	1 846			

c) Simulation de la retenue

Tableau 33: Simulation de la retenue

Périodes	Début de période		Cons. Humaine et pastorale			Pertes (évaporation +infiltration)			Irrigation			Fin de Période	
	Niveau	Volume	Vol. prélever	Nouv. Vol	Nouv. Niv	Haut. évap	Nouv.niv	Nouv. Vol	Vol.cons	Nouv.Vol	Nouv.niv	Volume	Niveau
Novembre	299,00	48 042,47	2 611,44	45 431,03	298,88	0,14	298,73	42 358,00	1 458,89	40 899,11	298,67	40 899,11	298,67
Décembre	298,67	40 899,11	2 611,44	38 287,67	298,54	0,16	298,39	35 112,49	2 568,87	32 543,62	298,25	32 543,62	298,25
Janvier	298,25	32 543,62	2 611,44	29 932,19	298,12	0,16	297,95	26 806,12	3 803,80	23 002,32	297,74	23 002,32	297,74
Février	297,74	23 002,32	2 611,44	20 390,88	297,59	0,16	297,43	17 672,76	4 118,69	13 554,07	297,17	13 554,07	297,17
Mars	297,17	13 554,07	2 611,44	10 942,63	297,00	0,17	296,84	8 791,30	3 087,04	5 704,26	296,60	5 704,26	296,60

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

$$E = H + h + R = 4 + 1 + 1 = 6 \text{ m}$$

✚ 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 $lc = 1.65 * \sqrt{E} = 1.65 * \sqrt{6} = 4,04 \text{ m}$

PREECE $lc = 1.1 * \sqrt{E} + 1 = 1.1 * \sqrt{6} + 1 = 3.67 \text{ m}$

Autres formules $lc = 3.6 * \sqrt{E} - 3 = 3.6 * \sqrt{6} - 3 = 5.82m$

Formule empirique $lc = \frac{E}{3} = \frac{6}{3} = 2m$

On prendra la moyenne arrondie à $lc = 4 m$

✚ Effet des vagues et revanche libre

❖ Mallet et Pacquant

La hauteur des vagues $h = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} * \sqrt{f} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} * \sqrt{0,25} = 0,67 m$ $f =$ fetch en kilomètres

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

formule : $V = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} * h = 1.5 + \frac{2}{3} * 0,67 = 1,94 m/s$

La revanche libre est donnée par la formule :

$$R = A * \left(h + \frac{V^2}{2 * g} \right) = 0.75 * \left(0,67 + \frac{1,94^2}{2 * 9.81} \right) = 0,64 m$$

❖ Formule de GAILLARD

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

$$V = 1.5 + 2 * h = 1.5 + 2 * 0,67 = 2,83 m/s$$

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

$$R = 0.75 * h + \frac{V^2}{2 * g} = 0.75 * 0,67 + \frac{2,83^2}{2 * 9.81} = 0,9 m$$

On prendra la revanche maximale arrondi qui est de 1 m.

✚ Epaisseur de la protection

$$ep = 1.5 * D50$$

$$h_{vague} = 0,67 m \Rightarrow D50 = 0,3m$$

$$ep = 1.5 * 0.25 = 0.45m \text{ soit } 45cm$$

✚ Infiltration et hydraulique interne

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

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

$$Lf = lc + 2 \frac{H}{\tan \alpha} = 4 + 2 * \frac{6}{\frac{1}{2}} = 28 m$$

L'emprise du barrage $L_f = 28 \text{ m}$

❖ Calcul de la longueur du drain

Elle est estimée par la formule suivante : $ld = \left(\frac{1}{4} \text{ à } \frac{1}{3}\right) * L_f = \frac{1}{3.5} * 28 = 8 \text{ m}$.

❖ 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 :

$$b = (H - R) * \frac{1}{\tan \alpha} = (6 - 1) * \frac{1}{\frac{1}{2}} = 10 \text{ m}$$

Le paramètre $b = 10 \text{ m}$

❖ Calcul du paramètre d

Il est calculé par la formule suivante :

$$d = L_f - 0.7b - ld = 28 - 0.7 * 10 - 8 = 13 \text{ m}$$

Le paramètre $d = 13 \text{ m}$

❖ Calcul du paramètre Y0

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

$$Y_0 = \sqrt{(6 - 1)^2 + 13^2} - 13 = 0,93 \text{ m}$$

❖ Evaluation du débit de fuite

Le débit de fuite est calculé comme suit :

$$q = Kr * y_0 = 5 * 10^{-7} * 0,93 = 4,64 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$L' épaisseur du drain $e_d = 2 * \sqrt{\frac{q * l d}{k d}} = 2 * \sqrt{\frac{8 * 4,64 * 10^{-7}}{10^{-4}}} = 0,39 \text{ m}$$$

$$e_d = 40 \text{ cm}$$

b) 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 déversante.

La formule de base pour les calculs est la suivante :

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

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

$$L_{approx} = \frac{Q_{crue}}{m\sqrt{2gh^2}^3} = \frac{64,56}{0,49 * \sqrt{2 * 9,81}^2}^3 = 29,74m$$

Le coefficient « x0 » se calcule par la formule :

$$x_0 = \frac{m^2 g L_1^2 Q_{cmax} t_m^3}{S^3} = \frac{0,49^2 * 9,81 * 29,74^2 * 64,56 * 21130,84^3}{96084,94^3}$$

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-après (droite).

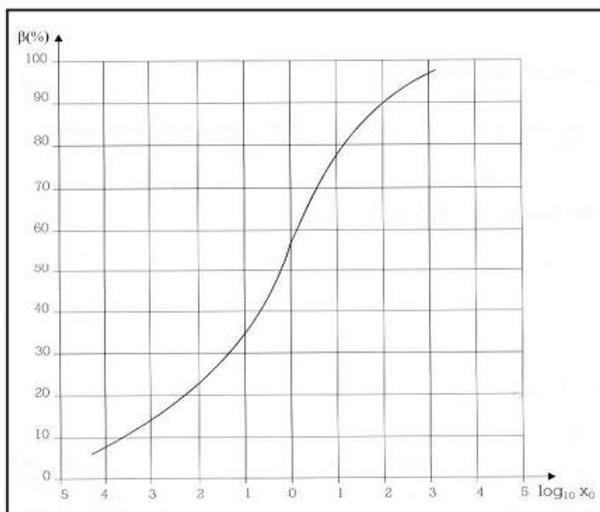


Figure 5 : Abaque de la méthode du x0

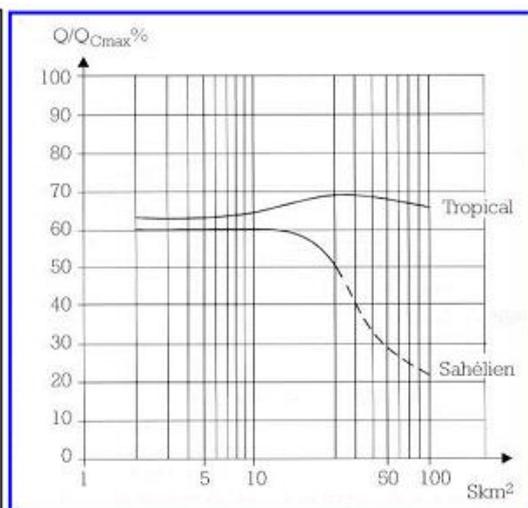


Figure 6 : Abaque de validation du x0

Le débit laminé est alors : $Q_e = \beta Q_{cmax}$. Le Tableau 34 ci-dessous donne une synthèse des résultats et de la procédure du calcul de la longueur de déversement des eaux.

Tableau 34 : Calcul de la longueur du seuil déversant

L(m)	S(m ²)	m	tm(s)	Qcmax(m ³ /s)	g(m/s ²)	X0	log10 X0	B	Qemax
29,74	96084,94	0,49	21130,84	64,56	9,81	1 430,89	3,16	97,5%	62,91
28,99	96084,94	0,49	21130,84	64,56	9,81	1 358,97	3,13	97,3%	62,80
28,93	96084,94	0,49	21130,84	64,56	9,81	1 353,90	3,13	97,3%	62,80
28,93	96084,94	0,49	21130,84	64,56	9,81	1 353,90	3,13	97,3%	62,80
28,93	96084,94	0,49	21130,84	64,56	9,81	1 353,90	3,13	97,3%	62,80
28,93	96084,94	0,49	21130,84	64,56	9,81	1 353,90	3,13	97,3%	62,80
28,93	96084,94	0,49	21130,84	64,56	9,81	1 353,90	3,13	97,3%	62,80
28,93	96084,94	0,49	21130,84	64,56	9,81	1 353,90	3,13	97,3%	62,80

Nous avons fixé la longueur du déversoir à $L = 30 m$.

Le débit laminé à la sortie du déversoir vaut : $Q_e = \beta Q_{cmax}$, soit : $62,80 m^3/s$. Ce débit servira de base pour le dimensionnement du bassin de dissipation et du chenal.

❖ Etudes de stabilité du déversoir

- Evaluation des forces agissant sur le déversoir

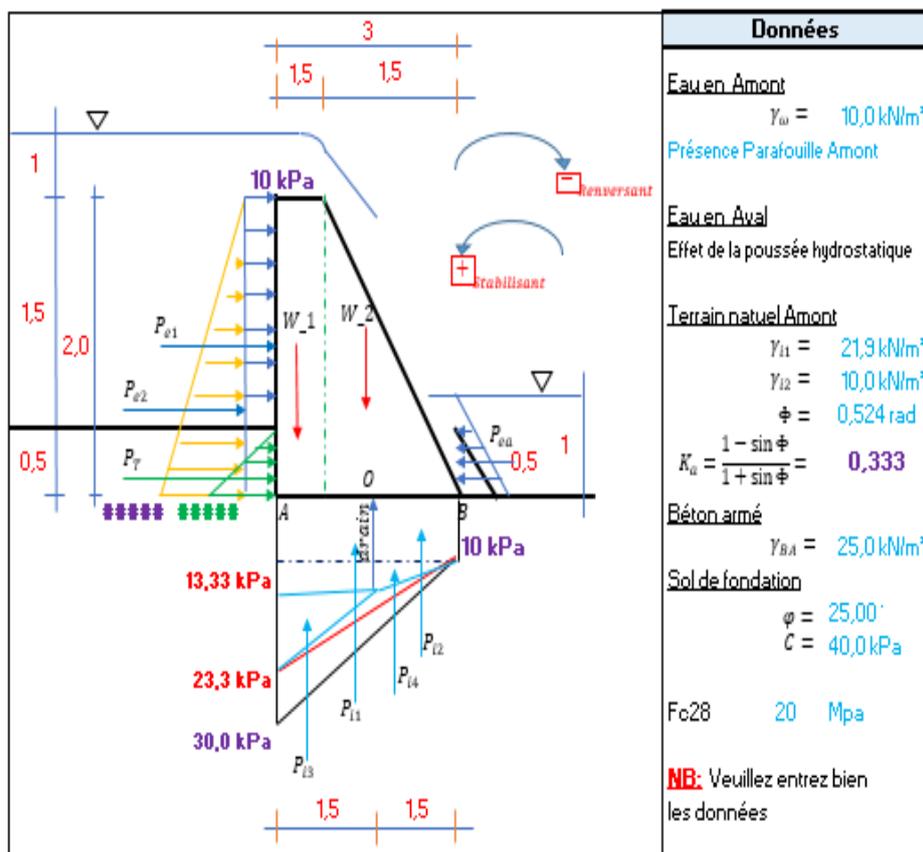


Figure 7: Vérification de la stabilité du déversoir

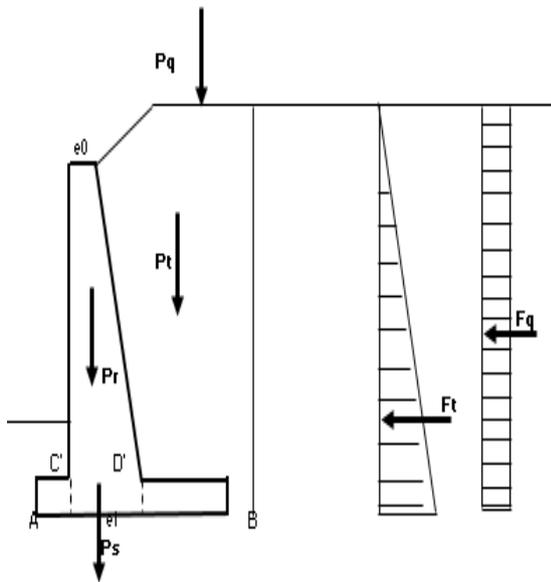
Tableau 35 : Résultats (stabilité par rapport au point B)

Désignations		Force [kN/ml]		Bras de levier [m]	Moments [kN.m]	
		Verticale	Horizontale		Stabilisants [+]	Renversants [-]
Poids propre						
$W_1 =$	2 *1,5 *25	75		2,25	168,75	
$W_2 =$	2 *1,5 /2 *25	28,13		1	28,13	
$W_3 =$	1,5 *0,5 * 25	0		0,75	0	
Poussées externes						
$P_{e1} =$	10 * 2		20	1		20
$P_{e2} =$	20 * 2 /2		20	0,67		13,3
$P_{ea} =$	10 * 1 /2		5	0,33	1,67	
Sous pressions						
$P_{i1} =$	13 *1,5	20		2,25		45
$P_{i2} =$	10 *1,5	15		0,75		11,25
$P_{i3} =$	10 *1,5 /2	7,5		2,5		18,75
$P_{i4} =$	3,3 *1,5 /2	2,500		1,000		2,5
Poussées des terres Amont						
$P_T =$	3,65 *0,5 /2		0,912	0,167		0,15
Somme des forces Verticales: W		58,125				
Somme des forces Horizontales: U			35,912			
Somme des Moments Stabilisants : M_s					198,542	
Somme des Moments Renversants : M_r						110,985
Stabilité au glissement						
Coefficient de sécurité au glissement	$F_G = \frac{\sum(W - U) * \tan \varphi}{\sum P}$		1,21	Fg > 1,2 Condition vérifiée Ok!		
Stabilité au renversement						
Coef de renv $F_R = \left \frac{M_S}{M_R} \right $	1,79 m	Distance par rapport à B : $X = \frac{M_S - M_R}{\sum F_V}$				1,51 m
Excentricité $e = \overline{OB} - X$	-0,01 m	Règle du tier centrale $\frac{-b}{6} < e < \frac{b}{6}$				0,50 m
Contrainte en A σ_A	34,8 kPa	Contrainte en B σ_B				33,94 kPa
Contrainte limite du béton		6			MPa	

✚ Stabilité du mur bajoyer

La stabilité du mur bajoyer sera vérifiée à l'aide d'un classeur Excel.

❖ Evaluation des forces agissant sur le déversoir



Actions permanentes

Actions verticales

P_r : Poids du rideau

P_s : Poids de la semelle

P_t : Poids des terres sur la semelle

Actions horizontales

F_t : Poussée des terres sur le mur

Actions variables

Actions verticales

P_q : Poids des surcharges sur le remblai

Actions horizontales

F_q : Poussée due aux surcharges

Figure 8 : vérification de la stabilité du mur bajoyer

❖ Calcul des actions

Tableau 36 : Résultat de l'étude de stabilité du bajoyer

Actions	Forces (KN)	Bras de levier (m)	Moment (KN.m)
P_r	29,40	1,23	36,02
P_s	20,58	1,23	25,21
P_t	69,83	1,93	134,41
P_q	10,50	1,93	20,21
F_t	45,46	1,33	60,61
F_q	11,96	2,00	23,93
M. stabilisant			215,85
M. renversent			84,54
F. horizontales	57,42		
F. Verticales	130,31		
Coefficient de stabilité au renversement	2,55		
Coefficient de stabilité au glissement	1,70		

✚ Chenal d'évacuation

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

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

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 37 : Détermination de la profondeur y_n dans le chenal

Q (m ³ /s)	62,80	$\frac{Q}{K_s \sqrt{I}} = \frac{(y_n (b + m y))^{\frac{5}{3}}}{(b + 2 y_n \sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}}$		
Ks	60			
I (m/m)	0,002			
m	1			
b (m)	30			
		Yn (m)	Variable	Debitance
		0,5	9,42	23,40
		0,6	12,76	
		0,7	16,49	
		0,8	20,59	
		0,803	20,72	
		0,8641	23,40	
		0,846	22,59	

$$y_n = 0,8641 \text{ m}$$

✚ Bassin de dissipation

La hauteur H_o du déversoir est lue sur le profil en long de la digue. Nous obtenons $H_o = 1,5 \text{ m}$.

Nous avons les ratios suivant :

$$\frac{h}{H_o} = 0,7 \text{ et } \frac{Y_n}{H_o} = 0,58$$

Ces deux ratios nous permettent d'évaluer la profondeur du bassin grâce à l'abaque ci-dessous :

$$D/H_o = 0,43 \text{ soit } D = 0,65 \text{ m}$$

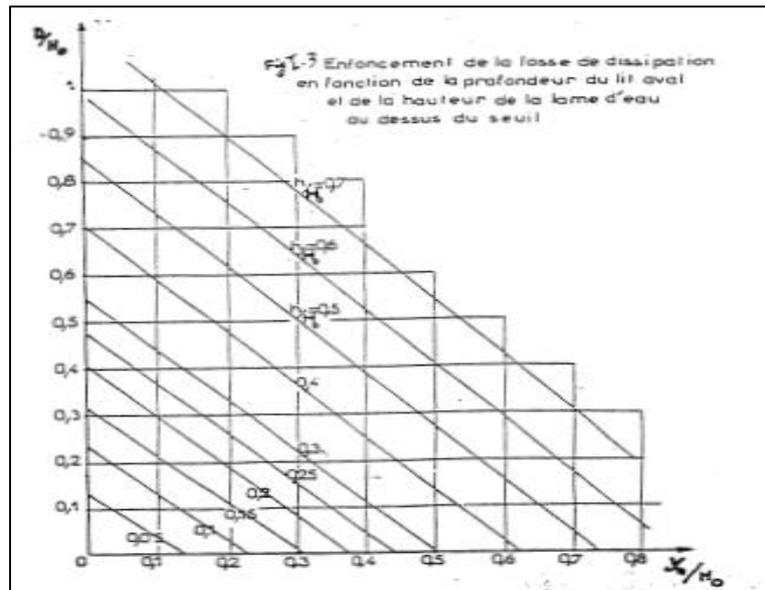


Figure 9 : Abaque de détermination de la profondeur du bassin de dissipation

Connaissant la profondeur du bassin, on détermine le tirant d'eau avant le ressaut Y_1 et la vitesse de chute V_1 en résolvant le système suivant :

$$\begin{cases} V_1 = \sqrt{2g \left[0,9 \left(H_0 + h + \frac{V^2}{2g} \right) - y_1 \right]} \\ y_1 = \frac{\beta Q_{cmax}}{L \cdot V_1} = \frac{q}{V_1} \end{cases}$$

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

$$V = q/h \text{ (m/s)}$$

Nous obtenons les valeurs suivantes : $y_1 = 0,32 \text{ m}$ et $V_1 = 6,46 \text{ m/s}$ donnant un nombre de Froude de :

$$Fr = V_1 / \sqrt{gy} \text{ soit } 3,62$$

Le nombre de Froude calculé étant inférieur à 4.5 et la vitesse inférieure à 15 m/s, nous avons un bassin de type I. Pour être sûr de contenir le ressaut, nous allons prendre un bassin de type II. Les paramètres complémentaires concernant le ressaut et les caractéristiques des blocs chicanes peuvent être évalués par une série d'abaques et de formules.

Tableau 38 : Caractéristiques du bassin de dissipation

	<p>Profondeur conjuguée :</p> $y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8F_r^2} - 1) = 1,506 \text{ m}$ <p>Longueur du ressaut (Abaque) :</p> $\frac{L}{y_2} = 2,2 \text{ soit } L_{\text{ressaut}} = 3.31 \text{ m}$ <p>Longueur du bassin :</p> $L_{\text{bassin}} > L_{\text{ressaut}}, \text{ soit } L_{\text{bassin}} = 3,5 \text{ m}$ $\frac{h_2}{y_1} = 1,25 \text{ et } \frac{h_4}{y_1} = 1,25$ $h_2 = 0,405 \text{ m et } h_4 = 0,405 \text{ m}$ <p>Largeur des blocs : 0,32 m</p> <p>Hauteur des blocs de chutes $h_3 = Y_1 = 0,32 \text{ m}$</p> <p>Espacement des blocs : 0,32 m</p> <p>Largeur chicanes : 0,30 m</p> <p>Hauteur chicanes : 0,405 m</p> <p>Espacement chicanes : 0,30 m</p> <p>Crête chicanes : 0,06 m</p> <p>Hauteur du seuil terminal : $h_4 = 0,405 \text{ m}$</p>
--	---

Figure 10 : Caractéristiques des chicanes et des blocs de chutes

✚ Ouvrage de prise

Pour s'assurer que la prise pourra satisfaire tous les besoins, nous allons faire la somme en m³/s des besoins agricoles, domestiques et pastoraux.

Nous obtenons donc $Q(m^3/s) = 0,00342$

BRESSE : $Dth = 1,5 * \sqrt{Q} = 1,5 * \sqrt{0,00342} = 0,088 \text{ m}$

BONNIN : $Dth = \sqrt{Q} = \sqrt{0,00342} = 0,058 \text{ m}$

BEDJAOUI : $Dth = 1,27 * \sqrt{Q} = 1,27 * \sqrt{0,00342} = 0,074 \text{ m}$

En retenant la valeur max, on a un diamètre choisi de 90mm.

ANNEXE IV : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE

1. Identification des impacts du projet

Tableau 39 : Identification des impacts

Exploitation	Construction						Phases															
	Source des impacts						Eléments potentiellement affectés															
Amené et rempli des matériaux de construction et déblais	Détroussailage, Décapage et terrassement	Implantation des ouvrages	Remblai et déblai	Extraction de matériaux de la zone d'emprunt	Aménagements de la partie aval du barrage	Utilisation de machinerie et engins lourds	Amenagements paysagers	Production des déchets solides et liquides	Présence des étrangers	Présence de la main d'œuvre	Mise en eau du barrage	Exploitation de la retenue	Entretien	Ecoulement des cours d' eau	Eau							
																Qualité des eaux de surface	Qualité des eaux souterraine	Disponibilité de la ressource en eau				
Forme du relief	Qualité des sols et sous-sol	Texture et structure du sol	Faune et habitats	Espèces menacées ou protégées	Qualité de l' aire et odeur	Climat sonore (bruits et vibrations)	Climat	Paysage	Zones forestières	Périmètres agricoles	Activités pastorales	Santé publique	Mode de vie	Hygiène		Habitations	Routes et ouvrages	Tourisme	Sécurité	Eduction, formation et suivie	Commerce et activités génératrices de	Emplois

2. Evaluation des impacts du projet

Tableau 40 : Evaluation des impacts

Eléments Potentiellement Affectés		Nature Positif(P)/ Négative (N)	Critères des impacts			
			Portée	Intensité	Durée	Importance
Eau	Écoulement des cours d'eau	P	Régionale	Forte	Long terme	Majeur
	Qualité des eaux de surface	N	Régionale	Faible	Long terme	Modérer
	Qualité des eaux souterraine	P	Locale	Moyenne	Long terme	Modérer
	Disponibilité de la ressource en eau	P	Régionale	Forte	Long terme	Majeur
Sol	Forme du relief	P	Régionale	Moyenne	Long terme	Majeur
	Qualité des sols et sous-sol	N	Ponctuelle	Moyenne	Long terme	Modérer
	Texture et structure du sol	P	Ponctuelle	Moyenne	Long terme	Modérer
Faune et Flore	Flore (Végétation)	N	Ponctuelle	Moyenne	Long terme	Modérer
	Faune et habitats	N	Ponctuelle	Moyenne	Long terme	Modérer
	Espèces menacées ou protégées	N	Ponctuelle	Faible	Court terme	Mineur
Air	Qualité de l'aire et odeur	N	Ponctuelle	Moyenne	Long terme	Modérer
	Climat sonore (bruits et vibrations)	N	Ponctuelle	Moyenne	Court terme	Mineur
Climat et Paysage	Climat	P	Locale	Forte	Long terme	Majeur
	Paysage	P	Ponctuelle	Forte	Long terme	Majeur
Socio économie	Zones forestières	N	Ponctuelle	Moyenne	Moyen terme	Mineur
	Périmètres agricoles	P	Locale	Moyenne	Long terme	Modérer
	Activités pastorales	P	Locale	Forte	Long terme	Majeur
	Santé publique	N	Locale	Moyenne	Long terme	Modérer
	Mode de vie	P	Locale	Moyenne	Long terme	Modérer
	Hygiène	P	Locale	Moyenne	Long terme	Modérer
	Habitations	P	Locale	Faible	Court terme	Mineur
	Routes et ouvrages	N	Locale	Moyenne	Moyen terme	Modérer
	Tourisme	P	Régionale	Forte	Long terme	Majeur
	Sécurité	N	Locale	Moyenne	Long terme	Modérer
	Éducation, formation et suivie	P	Régionale	Moyenne	Long terme	Majeur
	Commerce et activités génératrices de revenus	P	Régionale	Forte	Long terme	Majeur
Emplois	P	Locale	Forte	Long terme	Modérer	

3. Pan de gestion ou mesures d'atténuation/ renforcement

Tableau 41 ; Mesures d'atténuation

Eléments potentiellement affectés	Mesure d'atténuation
Eau	<ul style="list-style-type: none"> Enlever tout débris qui peut entraver l'écoulement normal des eaux de surface ; Eviter toute pollution ou contamination des eaux par des produits chimiques.
Sol	<ul style="list-style-type: none"> Restaurer le sol par l'apport des éléments fertilisants ou par d'intrants dont la gestion doit être bien contrôlée ; Choisir des équipements ou produits chimiques moins polluants ; Assurer la maintenance des engins afin d'éviter les fuites d'huile, de carburant ou de tout autre polluant.
Faune et Flore	<ul style="list-style-type: none"> Eloigner les équipements de la végétation ; Reboiser ; Planter des arbres autour du barrage pour le protéger et limiter l'évapotranspiration ;

	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre en place un système de surveillance contre le risque d'incendie forestier.
Air	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter la vitesse des engins sur le chantier afin de réduire les soulèvements de poussières et le bruit ; • Arroser les tronçons de pistes et des services régulièrement ; • Ne pas réaliser les travaux bruyants en dehors des heures normales de travail.
Socio économie	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibiliser les ouvriers et la population contre les MST, le palu etc. ; • Respecter les conditions d'hygiène sur le chantier ; • Distribuer des préservatifs aux ouvriers ; • Respecter la charge à l'essieu afin de ne pas endommager les pistes et ouvrages existants • Signaler et limiter la vitesse avec des avertisseurs (ralentisseur) à l'entrée du village et aux endroits critiques ; • Sensibiliser la population (par des panneaux) aux dangers de circulation ; • Clôturer et sécuriser la base vie, les zones d'extraction et les parcs de matériel ; • Obliger le port des tenues de sécurité, de casques et de cache-nez ; • Utiliser la main, d'œuvre locale ; • Soutenir les activités de production agricole, pastoraux et piscicoles ; • Aider à la mise en place de comité gestion du barrage ; • Former sur les techniques de gestion des ouvrages ; • Offrir appui, conseil, assistance aux organisations des exploitants.

ANNEXE V : DEVIS QUANTITATIF DU PROJET

Côte TN : Côte terrain naturel

CD : Côte Digue

Lc : Largeur en crête

di : Distances partielles

H : Hauteur de la digue

L : Emprise de la digue

Sti : Surface par Profils

Si : Surface moyenne entre Profils

lti : Longueur de pente par profils

Vi : Volume de remblai en argile

Pt : profondeur tranchée

CE : Côte des PHE

d : embase

Tableau 42 : Surface emprise de la digue du barrage de Babarou

N° Profil	Côte TN (m)	CD (m)	Lc (m)	di (m)	H= CD-TN (m)	$L=lc+2H/\tan\alpha$ (m)	Sti= $(L+Lc)*H/2$ (m ²)	Si= $(Sti-1+Sti)*di/2$ (m ²)
P1	300,59	301	4	0	0,4	5,64	1,98	
P2	299,93	301	4	10	1,1	8,28	6,57	4,27
P3	299,02	301	4	10	2,0	11,92	15,76	11,17
P4	298,34	301	4	10	2,7	14,64	24,79	20,28
P5	297,67	301	4	10	3,3	17,32	35,50	30,14
P6	296,70	301	4	10	4,3	21,20	54,18	44,84
P7	295,00	301	4	10	6,0	28,00	96,00	75,09
P8	295,05	301	4	10	5,9	27,80	94,60	95,30
P9	295,59	301	4	10	5,4	25,64	80,18	87,39
P10	295,92	301	4	10	5,1	24,32	71,93	76,05
P11	296,38	301	4	10	4,6	22,48	61,17	66,55
P12	296,88	301	4	10	4,1	20,48	50,43	55,80
P13	297,05	301	4	10	3,9	19,80	47,00	48,72
P14	297,43	301	4	10	3,6	18,28	39,77	43,39
P17	298,71	301	4	0	2,3	13,16	19,65	
P18	299,10	301	4	10	1,9	11,60	14,82	17,23
P19	299,60	301	4	10	1,4	9,60	9,52	12,17
P20	300,13	301	4	10	0,9	7,48	4,99	7,26
P21	300,69	301	4	10	0,3	5,24	1,43	3,21
Surface totale							730	699

Tableau 43 : Surface de talus de la digue du barrage de Babarou

N° Profil	Côte TN (m)	CD (m)	Lc (m)	di (m)	H= CD-TN (m)	lti= $(H^2 + ((L-Lc)/2)^2)^{0,5}$ (m)	Surface Moyenne $(li-1+li)*di/2$ (m2)
P1	300,59	301	4	0	0,4	1,69	
P2	299,93	301	4	10	1,1	4,41	30,51
P3	299,02	301	4	10	2,0	8,16	62,88
P4	298,34	301	4	10	2,7	10,97	95,66
P5	297,67	301	4	10	3,3	13,73	123,49
P6	296,70	301	4	10	4,3	17,73	157,30
P7	295,00	301	4	10	6,0	24,74	212,34
P8	295,05	301	4	10	5,9	24,53	246,36
P9	295,59	301	4	10	5,4	22,31	234,19
P10	295,92	301	4	10	5,1	20,95	216,26
P11	296,38	301	4	10	4,6	19,05	199,97
P12	296,88	301	4	10	4,1	16,99	180,18
P13	297,05	301	4	10	3,9	16,29	166,37
P14	297,43	301	4	10	3,6	14,72	155,03
P17	298,71	301	4	0	2,3	9,44	-
P18	299,10	301	4	10	1,9	7,83	86,38
P19	299,60	301	4	10	1,4	5,77	68,03
P20	300,13	301	4	10	0,9	3,59	46,80
P21	300,69	301	4	10	0,3	1,28	24,33
Surface totale							2 213

Tableau 44 : Quantités des remblais de corps de la digue du barrage de Babarou

N° Profil	Côte TN (m)	CD (m)	Lc (m)	di (m)	H= CD-TN (m)	Si (m2)	Vi= $(Si-1+Si)*di/2$ (m3)
P1	300,59	301	4	0	0,41	0,00	0,00
P2	299,93	301	4	10	1,07	4,27	42,73
P3	299,02	301	4	10	1,98	11,17	111,65
P4	298,34	301	4	10	2,66	20,28	202,76
P5	297,67	301	4	10	3,33	30,14	301,45
P6	296,70	301	4	10	4,30	44,84	448,39
P7	295,00	301	4	10	6,00	75,09	750,90
P8	295,05	301	4	10	5,95	95,30	953,02
P9	295,59	301	4	10	5,41	87,39	873,91
P10	295,92	301	4	10	5,08	76,05	760,55
P11	296,38	301	4	10	4,62	66,55	665,51
P12	296,88	301	4	10	4,12	55,80	557,99
P13	297,05	301	4	10	3,95	48,72	487,17
P14	297,43	301	4	10	3,57	43,39	433,87
P17	298,71	301	4	0	2,29	0,00	0,00

P18	299,10	301	4	10	1,90	17,23	172,34
P19	299,60	301	4	10	1,40	12,17	121,70
P20	300,13	301	4	10	0,87	7,26	72,57
P21	300,69	301	4	10	0,31	3,21	32,13
Volume total digue							6 989

Tableau 45 : Estimation des profondeurs de tranchée d'ancrage de la digue du barrage de Babarou

N° Profil	C	Côte TN (m)	CD (m)	H (m)	CE (m)	L (m)	Pt (m)
P1	3,00	300,59	301,00	0,41	0,00	5,64	1,00
P2	3,00	299,93	301,00	1,07	0,07	8,28	1,00
P3	3,00	299,02	301,00	1,98	0,98	11,92	1,00
P4	3,00	298,34	301,00	2,66	1,66	14,64	1,00
P5	3,00	297,67	301,00	3,33	2,33	17,32	1,00
P6	3,00	296,70	301,00	4,30	3,30	21,20	1,42
P7	3,00	295,00	301,00	6,00	5,00	28,00	2,83
P8	3,00	295,05	301,00	5,95	4,95	27,80	2,79
P9	3,00	295,59	301,00	5,41	4,41	25,64	2,34
P10	3,00	295,92	301,00	5,08	4,08	24,32	2,07
P11	3,00	296,38	301,00	4,62	3,62	22,48	1,68
P12	3,00	296,88	301,00	4,12	3,12	20,48	1,27
P13	3,00	297,05	301,00	3,95	2,95	19,80	1,12
P14	3,00	297,43	301,00	3,57	2,57	18,28	1,00
P15	3,00	297,88	301,00	3,12	2,12	16,48	1,00
P16	3,00	298,25	301,00	2,75	1,75	15,00	1,00
P17	3,00	298,71	301,00	2,29	1,29	13,16	1,00
P18	3,00	299,10	301,00	1,90	0,90	11,60	1,00
P19	3,00	299,60	301,00	1,40	0,40	9,60	1,00
P20	3,00	300,13	301,00	0,87	0,00	7,48	1,00
P21	3,00	300,69	301,00	0,31	0,00	5,24	1,00

Tableau 46 : Quantités de déblais de tranchée d'ancrage de la digue du barrage de Babarou

N° Profil	Pt (m)	di (m)	Ei (m)	Sti (m2)	Si (m2)	Vi (m3)
P1	1,00	0,00	3,67	3,33		
P2	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
P3	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
P4	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
P5	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
P6	1,42	10,00	3,94	4,92	4,13	41,26
P7	2,83	10,00	4,89	11,18	8,05	80,47
P8	2,79	10,00	4,86	10,97	11,07	110,74
P9	2,34	10,00	4,56	8,85	9,91	99,13
P10	2,07	10,00	4,38	7,62	8,24	82,38
P11	1,68	10,00	4,12	5,99	6,81	68,09
P12	1,27	10,00	3,84	4,33	5,16	51,65
P13	1,12	10,00	3,75	3,80	4,07	40,66

P14	1,00	10,00	3,67	3,33	3,57	35,65
P15	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
P16	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
P17	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
P18	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
P19	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
P20	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
P21	1,00	10,00	3,67	3,33	3,33	33,33
Total						977

Tableau 47 : Quantités de matériau pour la pose du filtre horizontal de la digue du barrage de Babarou

N° Profil	Côte TN (m)	CD (m)	di (m)	H= (m)	L(m)	Ld (m)	Si (m2)	d (m)	Vi (m3)
P1	300,59	301	0	0,41	5,64	1,61	0,00	4,03	0,00
P2	299,93	301	10	1,07	8,28	2,37	19,89	5,91	7,95
P3	299,02	301	10	1,98	11,92	3,41	28,86	8,51	11,54
P4	298,34	301	10	2,66	14,64	4,18	37,94	10,46	15,18
P5	297,67	301	10	3,33	17,32	4,95	45,66	12,37	18,26
P6	296,70	301	10	4,30	21,20	6,06	55,03	15,14	22,01
P7	295,00	301	10	6,00	28,00	8,00	70,29	20,00	28,11
P8	295,05	301	10	5,95	27,80	7,94	79,71	19,86	31,89
P9	295,59	301	10	5,41	25,64	7,33	76,34	18,31	30,54
P10	295,92	301	10	5,08	24,32	6,95	71,37	17,37	28,55
P11	296,38	301	10	4,62	22,48	6,42	66,86	16,06	26,74
P12	296,88	301	10	4,12	20,48	5,85	61,37	14,63	24,55
P13	297,05	301	10	3,95	19,80	5,66	57,54	14,14	23,02
P14	297,43	301	10	3,57	18,28	5,22	54,40	13,06	21,76
P17	298,71	301	0	2,29	13,16	3,76	0,00	9,40	0,00
P18	299,10	301	10	1,90	11,60	3,31	35,37	8,29	14,15
P19	299,60	301	10	1,40	9,60	2,74	30,29	6,86	12,11
P20	300,13	301	10	0,87	7,48	2,14	24,40	5,34	0,00
P21	300,69	301	10	0,31	5,24	1,50	18,17	3,74	7,27
Total									324

ANNEXE VI : PLANS

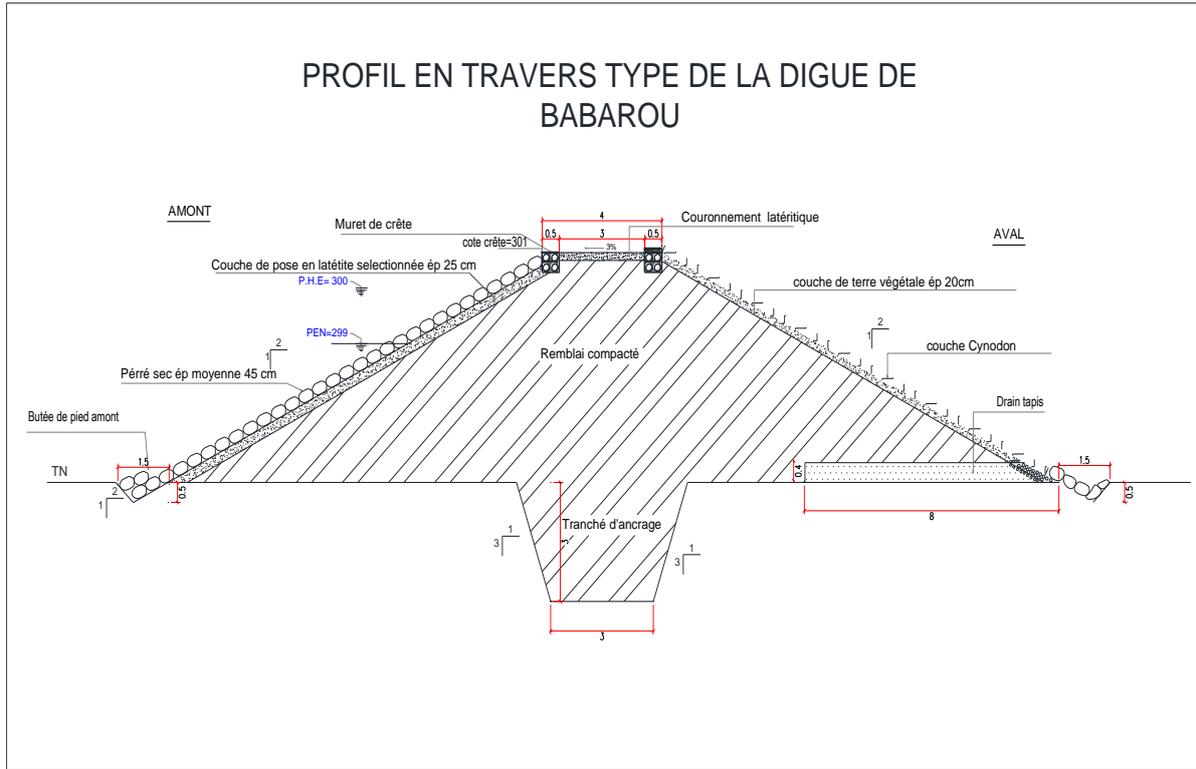


Figure 11 : Profil en travers type de la digue de Babarou

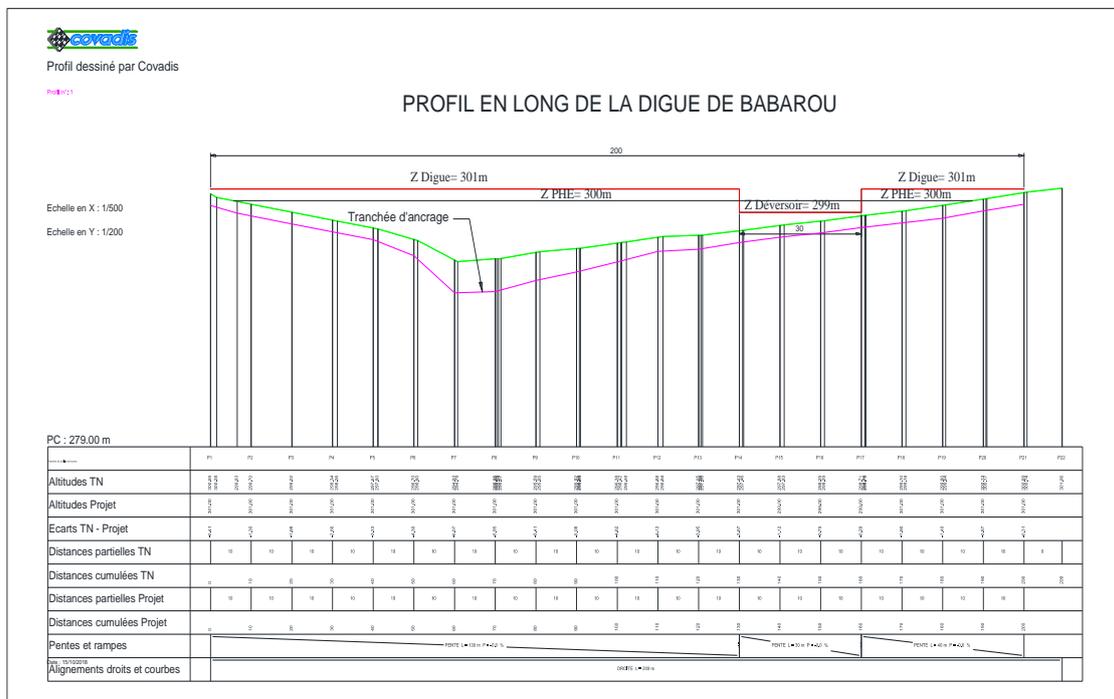


Figure 12 : Profil en long de la digue de Babarou

DEVERSOIR ET CHENAL EVACUATEUR DU BARRAGE DE BABAROU

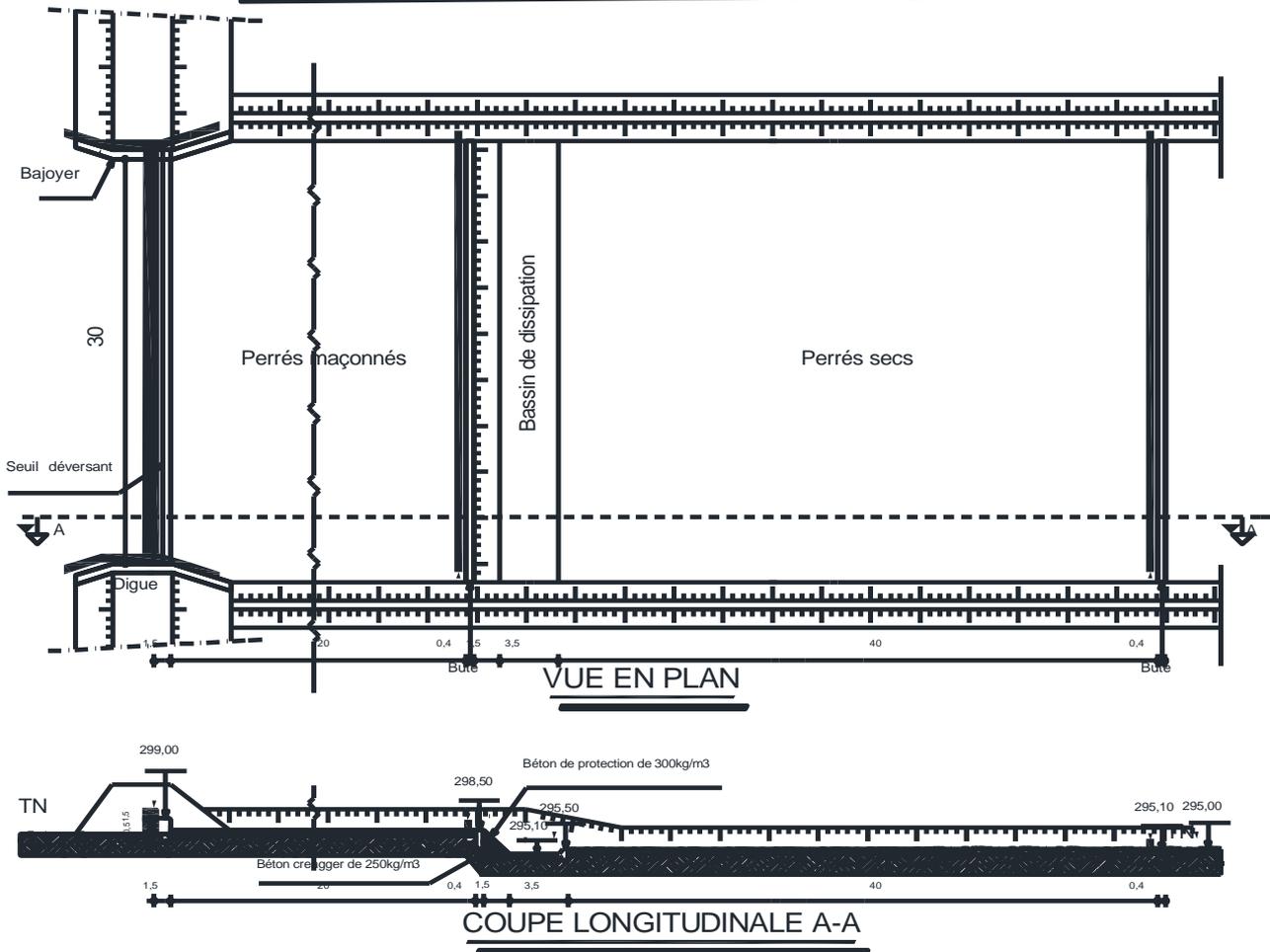


Figure 13: Déversoir et chenal évacuateur

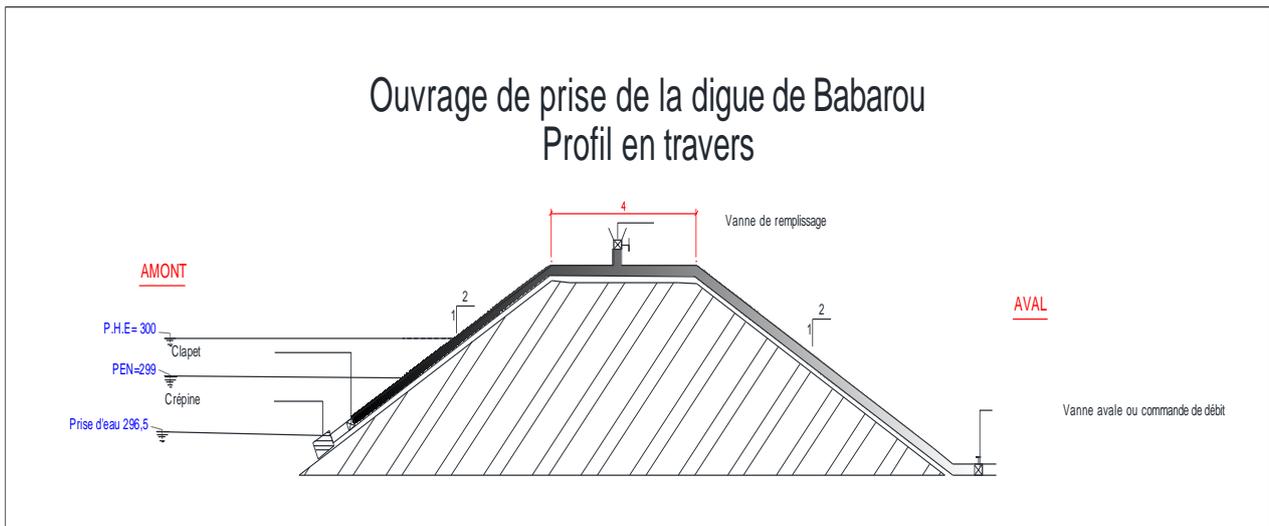


Figure 14: Prise d'eau par siphonage

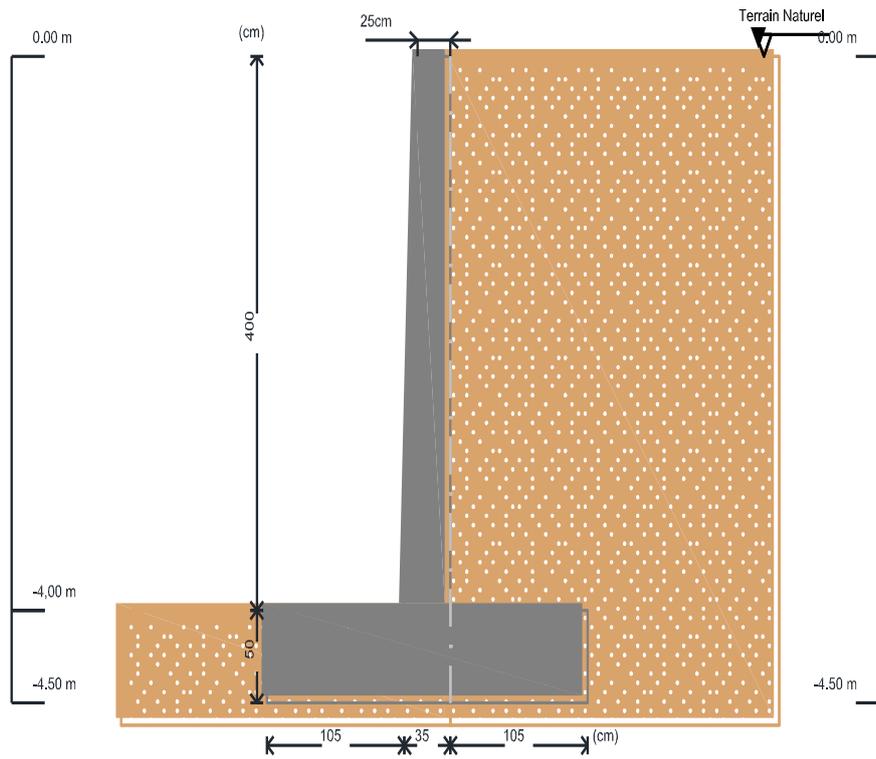


Figure 15 : Profil type du mur bajoyer

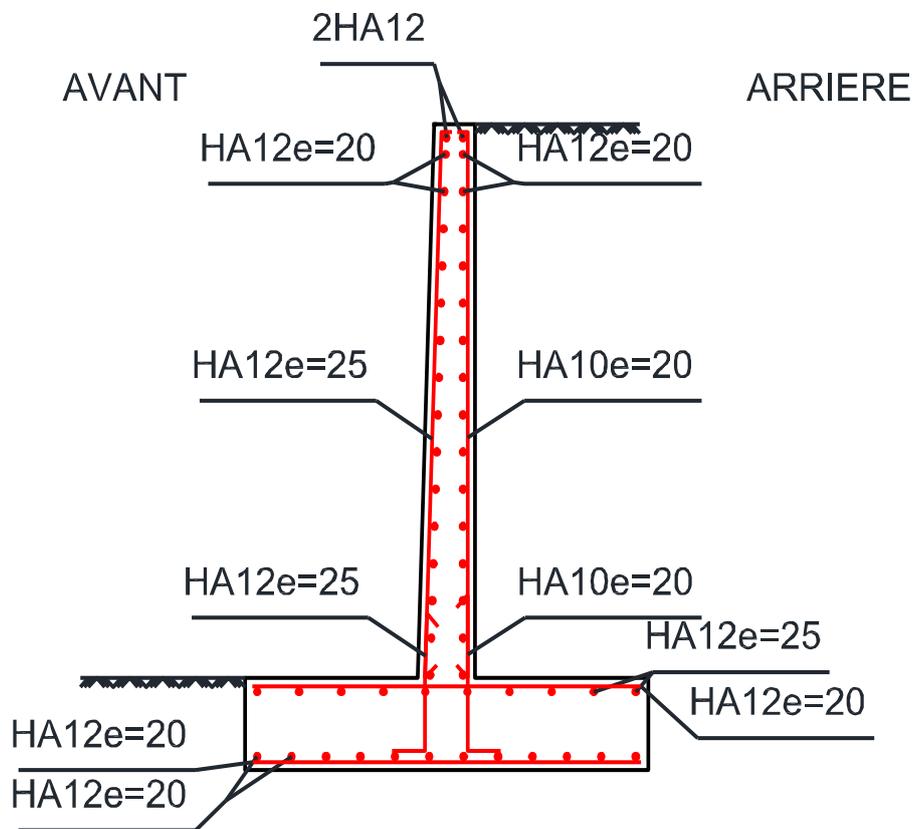


Figure 16: Plan de ferrailage

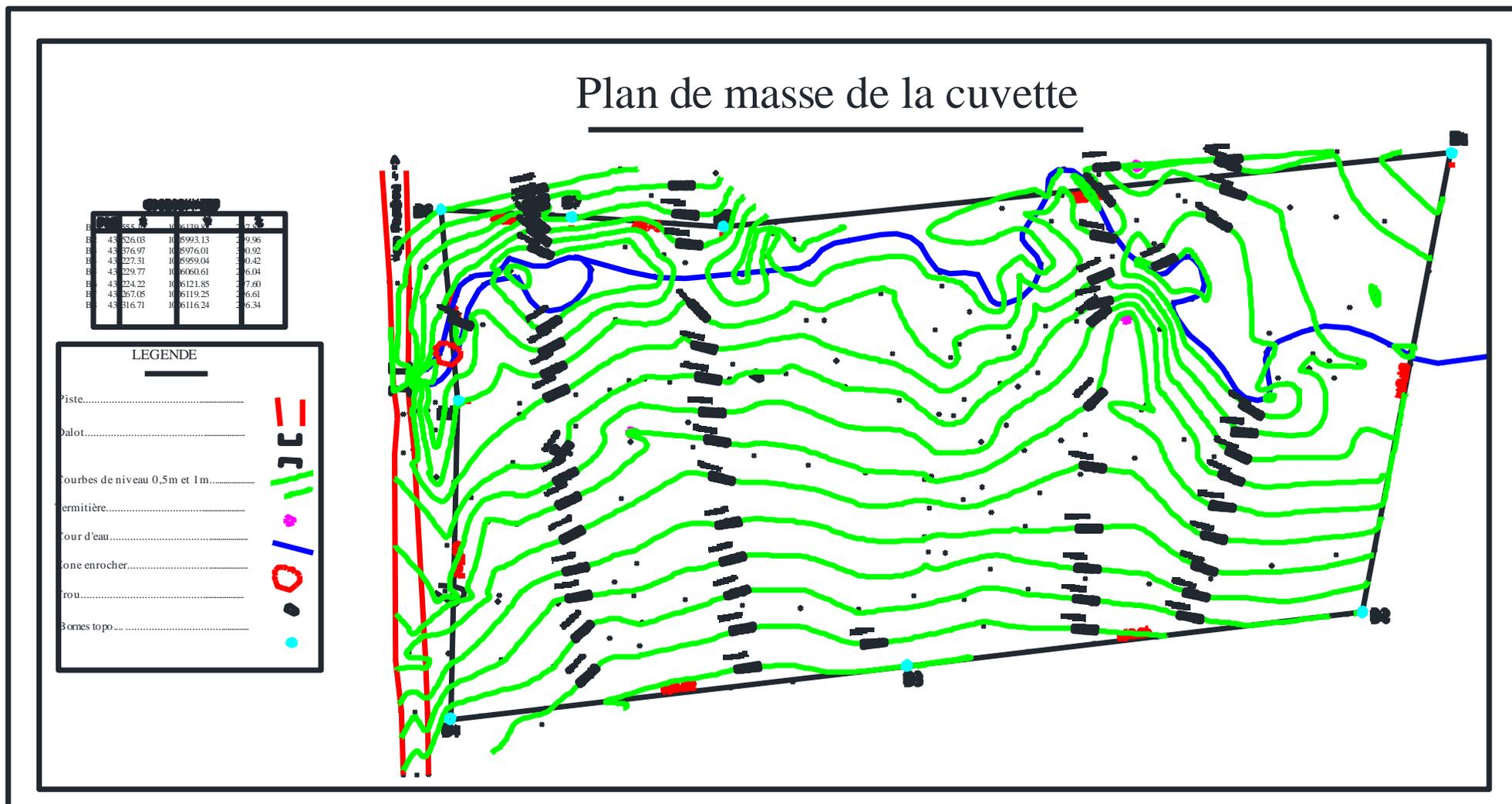


Figure 17 : Plan de masse de la cuvette du barrage de Babarou