



CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN BARRAGE
HYDRO-AGRICOLE DANS LE BAS-FOND DE ZANA-
COMMUNE DE SIRAKOROLA- CERCLE DE KOULIKORO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER EN INGENIERIE DE GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
OPTION : Infrastructures et réseaux hydrauliques/ Eaux Agricoles

Présenté et soutenu publiquement le 06 Juillet 2017 par :

Bréma DJIRE

Travaux dirigés par :

Dr. Dial NIANG, Enseignant-chercheur au 2iE

M. Sidiky Mohamed COULIBALY, Directeur Général au BIRAD

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Amadou KEITA

Membres du jury : Dr. Abdou LAWANE

M. Moussa LO

Dr. Dial NIANG

JUILLET 2017

DEDICACE :

Je dédie ce travail :

A ma famille, en particulier mes parents dont j'ai toujours eu leurs l'accompagnement dans le cadre de ma formation jusqu'à ce jour.

A tous les travailleurs du BIRAD, qui ont beaucoup contribué à la réussite de ce mémoire.

A tous mes frères, amis, camarades qui ont été à mes côtés, à vous tous je vous fais part de mes profondes considérations.

REMERCIEMENTS :

Au terme de cette étude, je saisis l'heureuse occasion pour adresser mes profonds et vifs remerciements à :

- Toute la direction et l'ensemble du corps professoral de 2iE, pour la qualité de la formation.
L'ensemble du personnel du BIRAD qui a su m'accueillir, m'intégrer au sein de leur équipe et qui n'ont ménagé aucun effort pour m'assurer la logistique requise afin de mener à bien les activités prévues pendant cette période de stage

J'adresse particulièrement un grand remerciement à :

- Dr. Dial NIANG, Enseignant chercheur au 2iE, pour sa disponibilité et ses conseils ;
- Mr. Sidiky Mohamed COULIBALY, Directeur Général au BIRAD, pour sa confiance en m'acceptant au sein du BIRAD pour ce stage ;
- Mr. Kodjo ANDJOMBE, Consultant Agroéconomiste au BIRAD, pour ses conseils et soutiens ;
- Mon oncle : Seydou DJIRE, pour ses conseils et soutiens que j'ai toujours reçu de sa part ;
- Ma mère : Fanta FAMANTA, pour toutes ses années d'efforts et de sacrifices. Pour son dévouement sans faille, ses conseils et ses prières pour ma réussite ;
- Ma chérie Mariam DJIRE, pour son soutien, son assistance et sa patience
- Mes frères, sœurs, cousins, amis et tous ceux qui, de près, ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail ;
- Mes camarades de classe et mes amis de 2iE.

Je ne saurais clore ce rapport sans remercier vivement tous ceux qui, de loin ou de près, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à l'élaboration du présent mémoire. Qu'ils trouvent tous ici, l'expression de ma profonde reconnaissance.

RESUME :

Cette présente étude a été menée dans le bas-fond de Zana du cercle de Koulikoro au Mali. Il s'agit d'une localité dont les activités premières (agriculture et élevage) sont soumises à de très fortes contraintes. Dans le but d'améliorer les conditions de vie de ces populations plusieurs actions ont été entreprises. Suite à la lettre de Marché N°05-02-E-2016/REAGIR-KKRO du dit projet, le Bureau d'études BIRAD Sarl a reçu le mandat de mener des études techniques pour l'aménagement du Bas-fond de ZANA (Commune rurale de Sirakorola, Cercle de Koulikoro). C'est dans ce contexte qu'a été défini notre thématique d'étude qui reposait sur la mise en place d'APD pour la construction d'un barrage.

Cet ouvrage aura comme volume de stockage 625 818 m³ pour une exploitation de 145 ha.

Les caractéristiques retenues seront de l'ouvrage :

- Longueur du déversoir : 120 m
- Hauteur du barrage : 5,00 m au droit du lit mineur
- Un ouvrage de vidange (pertuis) de deux passes (2,00 x 4,00 m) muni des batardeaux métalliques (25 x 200).

L'étude d'impact environnemental a permis de montrer les aspects bénéfiques d'un tel aménagement (reconstitution des terres agricoles et mise en valeur des ressources naturelles).

Le coût d'investissement total est estimé environ 325 millions de FCFA.

Mots clés :

1. **Barrage**
2. **Irrigation**
3. **Bas fond**
4. **Zana**
5. **Koulikoro**

ABSTRACT :

This present survey has been led in the shallow of Zana of the circle of Koulikoro in Mali. It is about a locality of which the activities first (agriculture and raising) are submitted to very strong constraints. In the goal to improve the conditions of life of these populations several actions have been undertaken. Following the letter of Market N°05-02-E-2016/REAGIR-KKRO of says it project the Office of study BIRAD Sarl received the mandate to lead technical studies for the planning of the Shallow of ZANA (farming Township of Sirakorola, Circle of Koulikoro). It is in this context that our thematic of survey that rested on the setting up of APD for the construction of a micro-dam has been defined.

This work will have like volume of storage 625 818 m³ for an exploitation of 145 ha. The retained features will be the work:

- Length of the spillway: 120m
- Height of the dam : 5,00 m to the right of the minor bed
- A work of draining (channel) of two passes (2,00 x 4,00 m) provided of the metallic batardeaux (25 x 200).

The total investment cost is of about 325 millions FCFA. The survey of environmental impact permitted to show the beneficial aspects of such a planning (reconstitution of the agricultural earths and enhancement of the natural resources).

Keywords

1. **Dam**
2. **Irrigation**
3. **Low bottom**
4. **Zana**
5. **Koulikoro**

LISTE DES ABREVIATIONS et ACRONYMES :

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

BIRAD : Bureau d'Ingénierie et de Recherche Appliquée au Développement

AED : Association pour l'Entraide et le Développement

CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

CSCR : Cadre Stratégique pour la Croissance et la Réduction de la Pauvreté

DAO : Dossier d'Appel d'Offre

Dd : Densité de Drainage

Ds : Densité Spécifique

EIER : Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipeement Rural

ENI : Ecole Nationale d'Ingénieur

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

IP : Irrigation de Proximité

IPRO-REAGIR : Irrigation de Proximité – Renforcement de l'Agriculture Irriguée

NIE : Notice d'Impact Environnemental

OPN : Optimum Proctor Normal.

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

PEN : Plan d'Eau Normal

PHE : Plus Haute Eau

PME : Petite et Moyenne Entreprise

PMI : Petite et Moyenne Industrie

PNIP : Programme National d'Irrigation de Proximité

TE : Temps d'Envasement

UBT : Unité de Bétail Tropical

TRI : Taux de rentabilité interne

DRI : Durée de Retour sur Investissement

VAN : Valeur Actuelle Nette

SOMMAIRE

DEDICACE :.....	I
REMERCIEMENTS :	II
RESUME :	III
ABSTRACT :	IV
LISTE DES ABREVIATIONS et ACRONYMES :	III
LISTE DES TABLEAUX :	VI
LISTE DES FIGURES ET EQUATIONS	VII
I. INTRODUCTION	1
II. CONTEXTE D'ETUDE :	2
2.1. Objectifs du stage :	2
2.2. Présentation générale de la zone du projet :	2
2.2.1 Milieu sociodémographique (population) :	2
2.2.2 Climat :	2
2.2.3 Sols et végétation :	3
2.2.4 Relief	3
2.2.5 Hydrographie :	3
III. METHODE ET MATERIELS :	4
3.1. Localisation de la zone d'étude :	4
3.2. Matériels :	4
3.3. Méthodes :	4
3.3.1 Diagnostic participatif de la situation actuelle du bas-fond :	5
3.3.2 Etudes socioéconomiques :	5
3.3.3 Etudes topographiques :	5
3.3.4 Etudes géotechniques et pédologiques	5
3.3.5 Etudes hydrologiques	5
3.3.5.1 Caractéristiques physiques et géomorphologiques :	5
3.3.5.2 Prédétermination de la crue du projet :	7
3.3.5.3 Analyses fréquentielles des pluies :	8
3.3.5.4 Etude des apports :	9
3.3.6 Etudes hydrauliques et Dimensionnement du barrage.....	10
3.3.6.1 Etude de la retenue :	10
3.3.6.2 Etude de la digue et des ouvrages annexes	11
A) Dimensionnement de la digue :	11
B) Évacuateur des crues :	13
C) Ouvrage de régulation et vidange :	15
IV. RESULTATS ET DISCUSSION	17
4.1 Résultats	17

4.1.1	Diagnostic participatif de la situation actuelle du bas-fond :	17
4.1.2	Études socioéconomiques :	18
4.1.2.1	Les Activités de production agricole :	18
4.1.2.2	Les Activités génératrices de revenus/AGR :	18
4.1.2.3	Les Infrastructures socio-économiques :	19
4.1.3	Études topographiques :	19
4.1.4	Études géotechniques et pédologiques	20
4.1.4.1	Etudes Pédologiques ou Prospection de Surface	20
4.1.4.2	Etudes Géotechniques ou Prospection en Profondeur	23
4.1.5	Etude hydrologique :	25
4.1.5.1	Caractéristiques physiques et morphologique du bassin versant :	25
4.1.5.2	Prédétermination de la crue du projet :	26
4.1.5.3	Débit de crue décennal retenue :	27
4.1.5.4	Débit de projet :	28
4.1.5.5	Analyses fréquentielles des pluies	28
4.1.5.6	Etude des apports.....	29
4.1.6	Etudes hydrauliques et dimensionnements du barrage :	30
4.1.6.1	Etude de la retenue :	30
4.1.6.2	Etude de la digue et des ouvrages annexes :	34
4.1.6.3	Etude de la digue :	34
4.1.6.4	Evacuateur de crue :	35
4.1.6.5	Ouvrage de régulation ou de vidange :	39
4.1.6.6	Avant-métré et coût des travaux :	40
4.1.6.7	Etudes de rentabilité économique et financière :	40
4.1.6.7.1	Eléments de base de calcul :	40
4.2	Discussion :	Erreur ! Signet non défini.
V.	Notice d'impact environnemental (NIE) :	45
V.5.1	Impacts sur l'environnement :	45
V.5.1.1	Impacts positifs :	45
V.5.1.2	Impacts négatifs.....	45
V.5.2	Impacts sur la population :	45
V.5.2.1	Impacts positifs.....	45
V.5.2.2	Impacts négatifs :	46
VI.	Conclusion :	47
VII.	Recommandations :	48
VIII.	Références Bibliographiques :	49
ANNEXES		50

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1: Coordonnées du barrage de Zana	25
Tableau 2: Les caractéristiques du bassin versant	25
Tableau 3: Les paramètres de prédétermination de crue par la méthode ORSTOM.....	26
Tableau 4: Résultats du calcul de débit par la méthode ORSTOM.....	27
Tableau 5: Détermination du débit par la méthode CIEH	27
Tableau 6: Pluies moyennes annuelles	28
Tableau 7: Ajustement par la loi de GAUSS (pluies annuelles)	28
Tableau 8: Ajustement par la loi de GUMBEL (pluie maximales journalière)	29
Tableau 9: Estimation du volume des apports.....	29
Tableau 10: Vérification du remplissage de la retenue aux apports en année quinquennale sèche et décennale sèche	29
Tableau 11: Calage du plan d'eau normal (PEN)	30
Tableau 12: Estimation des pertes par évaporation	31
Tableau 13: Récapitulatif des besoins et pertes.....	32
Tableau 14: Caractéristiques de la digue route.....	35
Tableau 15: Caractéristiques géométriques du bassin de dissipation.....	37
Tableau 16: Caractéristiques du Déversoir.....	39
Tableau 17: Caractéristiques de l'ouvrage de régulation ou de vidange	39
Tableau 18: Cultures de contre saison et superficies.....	41
Tableau 19: Synthèse des comptes d'exploitation à l'hectare par culture.....	42
Tableau 20: Valeur de production et charges exploitation du projet.....	42
Tableau 21: Principaux indicateurs économiques du projet.....	43
Tableau 22: Test de sensibilité	44
Tableau 23: Détermination de la valeur de l'Indice global de pente I_g (m/km).	54
Tableau 24: caractéristiques du bassin versant.....	55
Tableau 25: Pluies moyennes annuelles	56
Tableau 26: Pluie maximales journalière	56
Tableau 27: Méthode ORSTOM	57
Tableau 28: Courbe hauteur volume et hauteur surface	60
Tableau 29: Récapitulatif des besoins et pertes.....	1
Tableau 30: Laminage des crues	5

LISTE DES FIGURES ET EQUATIONS

Figure 1: Evolution de la population de Zana	2
Figure 2: Hydrographie de Zana.....	3
Figure 3: Abaque du coefficient de laminage.....	14
Figure 4: Courbe hauteur volume et hauteur surface	30
Figure 6: Courbe exploitation de la retenue	33
Figure 7: Courbe hypsométrique	54
Figure 8: Courbe d'exploitation de la retenue de Zana	3
Figure 9: Bassin de type I.....	8
Figure 10: Détermination de la tranchée d'ancrage du déversoir	9
Figure 11: Application de la règle de LANE sur la Digue	12
Équation 1: indice de forme ou de compacité du bassin versant	5
Équation 2: La longueur du rectangle équivalent.....	6
Équation 3: La largeur du rectangle équivalent.....	6
Équation 4: La densité de drainage	6
Équation 5: L'indice global de pente	6
Équation 6: L'indice global de pente corrigé.....	7
Équation 7: Le débit décennal par la méthode ORSTOM.....	7
Équation 8: Le débit décennal par la méthode CIEH	8
Équation 9: Débit de projet.....	8
Équation 10: volume des apports d'eau du bassin versant.....	9
Équation 11: Hauteur de la digue	11
Équation 12: Revanche libre	12
Équation 13: Expression de la règle de LANE.....	12
Équation 14: La parabole de KOZENY	13

FICHE TECHNIQUE DU BARRAGE DE ZANA :

Intitulé du Projet	TRAVAUX REALISATION DU BARRAGE DE ZANA - CERCLE DE KOULIKORO	
Bénéficiaires	Village de Zana	
Localisation du site	Village : Zana Commune : Sirakorola Cercle : Koulikoro X = 644162,02 m Y = 1475784,90 m	
Accès au Site	Le village de ZANA est situé à environ 16 km au Nord- Ouest de Sirakorola son Chef-lieu de Commune. On y accède par la route bitumée Koulikoro- Sirakorola sur 60 km. La liaison Sirakorola – Zana se fait par une piste rurale difficilement praticable en hivernage.	
Objectif du Projet	Le désenclavement du village (par la construction d'un ouvrage avec possibilité d'accès au village) ; La riziculture en hivernage ; Le maraichage de contre saison ; La recharge de la nappe phréatique ; L'abreuvement des animaux.	
Pluviométrie	Pan = 750 mm P10 (24 h) = 84,32 mm	
Crue du projet	QP = 218 m ³ /s Superficie du bassin versant : S =704, 25 km ²	
Retenu	Plan d'eau normale PEN = 301,00 m Plus haute eau PHE = 302,00 m Surface inondée = 69,48 ha Volume d'eau stockée = 625 818,37 m ³	
Description de l'ouvrage	I- Digue en terre	<u>Nature</u> : Remblais homogène en argile compactée Largeur en crête = 4, 0 m Hauteur maxi/TN = 5,00 m Parement amont (H/V) = 2/1 Parement aval (H/V) = 2/1 Longueur rive gauche = 394 m Longueur rive droite = 15 m
	II- Evacuateur de crue	<u>Nature</u> : Déversoir latéral (radier déversant) en béton cyclopéen de 160m de long - Talus amont : vertical

		– talus aval (V/H) : 1/ 1 Position : Latéral <u>Longueur</u> : Longueur utile L = 120 m Largeur en crête = 5,0 m Rampe d'accès RG = 20 m Rampe d'accès RD = 20 Pente = 5% <u>Côte crête</u> : PEN = 302,25 m <u>Hauteur maxi/TN</u> = 3, 0 m <u>Protection aval</u> : Bassins en béton cyclopéen + gabion + enrochement reposant sur filtre en gravier et sable			
	III- Ouvrage de régulation/vidange	<u>Nature</u> : 02 pertuis de 200 x 400 cm muni de 16 batardeaux métalliques de 25 x 200 cm <u>Temps de vidange</u> Temps de vidange de la retenue = 6 heures			
Superficie exploitable	145 ha				
Récapitulatif des superficies avant et après aménagement					
Avant aménagement			Après aménagement		
Superficie exploité	Nombre d'exploitant	Nombre de cycle	Superficie exploitable	Nombre d'exploitant	Nombre de cycle
20 ha	72	01	145 ha	460	02
Coût du projet			325 259 462 F CFA HT		
Coût de l'hectare aménageable			2 243 169 FCFA		
Echéance du Projet			30 ans		
TRI	17,75%		DRI	4,8 ans	
Financement			AM-CANADA et Rép. féd. d'Allemagne à travers la KfW		
Maître d'Ouvrage Délégué			IPRO REAGIR KOULIKORO		
Bureau d'Etudes			BIRAD Sarl		

I.INTRODUCTION

La production agricole au Mali souffre de la faiblesse des précipitations et de leur caractère aléatoire. Au cours des trente dernières années, le pays a connu, au-delà de l'irrégularité des pluies, une baisse de la pluviosité et une progression de la désertification vers le sud du pays. De ce fait, l'agriculture irriguée est d'autant plus importante, particulièrement l'Irrigation de Proximité (IP), puisqu'une part importante de la population en vit et qu'elle joue un rôle central pour la réalisation des principaux objectifs de réduction de la pauvreté et pour la création d'emplois. Le potentiel en IP aménageable inexploité est élevé : le Mali dispose d'un potentiel physique de développement de l'irrigation considéré comme l'un des plus importants d'Afrique de l'Ouest. Ce potentiel est estimé à environ 2 200 000 ha de terres aptes à l'irrigation, dont plus de 1 800 000 ha dans la seule vallée du fleuve Niger. À ce jour, les superficies irriguées, tous types confondus, n'occupent que 325 000 ha, soit moins de 15 % du potentiel (PNIP, 2012).

C'est dans ce cadre que le Projet d'Irrigation de Proximité s'est engagé dans la construction d'ouvrages hydro-agricoles dans le Bélédougou à partir de 2005, plus précisément dans les cercles de Kati et de Kolokani. Des études préalables étant nécessaires pour s'assurer de la faisabilité et de la rentabilité des ouvrages, la phase pilote du Projet (PBB) a vu la réalisation avec succès de quatre (04) ouvrages.

Le Projet IPRO REAGIR/Koulikoro en droite ligne avec les IPRO est un Projet d'appui au Programme National d'Irrigation de Proximité (PNIP) du Ministère de l'Agriculture. Il s'inscrit dans les objectifs de contribuer à l'accroissement de la production agricole et à une meilleure accessibilité des produits agricoles au Mali. Cet objectif découle de celui du Cadre Stratégique pour la Croissance et la Réduction de la Pauvreté (CSCR) 2012-2017 du Mali qui vise à l'accroissement de la production agro-sylvo-pastorale et soutenir l'émergence d'agro-industries. L'orientation stratégique du CSCR 2012-2017 qui soutiennent ces objectifs est la « Promotion d'une croissance accélérée, durable, favorable aux pauvres, créatrice d'emplois et d'activités génératrices de revenus ».

Le présent mémoire dont le thème s'intitule : « Conception et dimensionnement d'un barrage hydro-agricole dans le bas-fond de Zana - commune rurale de Sirakorola, cercle de Koulikoro » pour promouvoir l'autosuffisance et la sécurité alimentaire, l'augmentation des revenus des bénéficiaires. Dans le présent mémoire, nous ferons une présentation du site, ainsi que le contexte du projet. Nous présenterons ensuite la démarche, les moyens et méthodes employées pour la conception et le dimensionnement d'un barrage dans le bas-fond de Zana. Nous formulerons enfin des recommandations en dernier lieu.

II.CONTEXTE D'ETUDE :

2.1. Objectifs du stage :

L'objectif général de ce présent mémoire est de concevoir et de dimensionner un ouvrage hydroagricole dans le bas-fond de Zana. Il s'agira spécifiquement de faire un diagnostic participatif de la situation actuelle du bas-fond

- ✓ Procéder à des études techniques (topographie, géotechniques, pédologie et agronomiques, EIE) de l'ensemble du bas-fond ;
- ✓ Estimer le coût total de l'aménagement

2.2. Présentation générale de la zone du projet :

2.2.1 Milieu sociodémographique (population) :

Le village de Zana compte 996 habitants (RGPH 2009) dont 511 femmes (51%) et 485 hommes (49%). La population active est estimée à environ 40%. Les Bambaras et les peuhls sont les ethnies présentes au village. Cette composition ethnique découle de l'histoire de la création du village par un chasseur Bamanan et un berger peuhl qui ont fait la découverte du site. Le village comptait en 2009, 72 concessions dans lesquelles habitent 142 ménages.

Avec un taux d'accroissement moyen annuel de l'ordre de 3% (figure 1) cette population sera de 1646 personnes en 2026.



Figure 1: Evolution de la population de Zana

2.2.2 Climat :

Il est de type soudano sahélien, avec une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 600 et 750 mm /an ; la moyenne pluviométrique interannuelle relevée entre 1989 et 2015 est de 748,5 mm. Ce climat se caractérise par une saison sèche et chaude qui s'étale de mars à Mai ; une saison pluvieuse qui va de Juin à Septembre et une intersaison fraîche de Novembre à Février.

Les températures moyennes oscillent autour de 28 °C ; le minimum est de 23°C et le maximum de 40°C.

2.2.3 Sols et végétation :

Dans le village de Zana, on a trois types de sols :

- les glacis d'érosion gravillonnaire peu profond et peu fertile ;
- les glacis d'épandage : sols argilo-limoneux, peu gravillonnaire, peu profond ;
- les bas-fonds aux sols de couleur noirâtre ; ils sont hydrophiles, profonds et fertiles

La végétation est de type soudano- sahélien avec boisement dans les vallées et certains abords des bas-fonds.

2.2.4 Relief

Le relief de la commune est dominé par le terminus du mont mandingue peu accidenté dans son ensemble ; le relief du village de Zana est très varié et comporte des vastes plaines, de plateaux, de collines et une chaîne de montagne.

2.2.5 Hydrographie :

La commune est traversée par quelques cours d'eaux non permanents, dont le principal passe par le village de : Zorokoro-Ouekeni-Beleco-Zana-Bazando-Kokeni et Koroko ; elle dispose aussi de marigots qui servent d'abreuvoirs pour les animaux à certaines périodes de l'année.

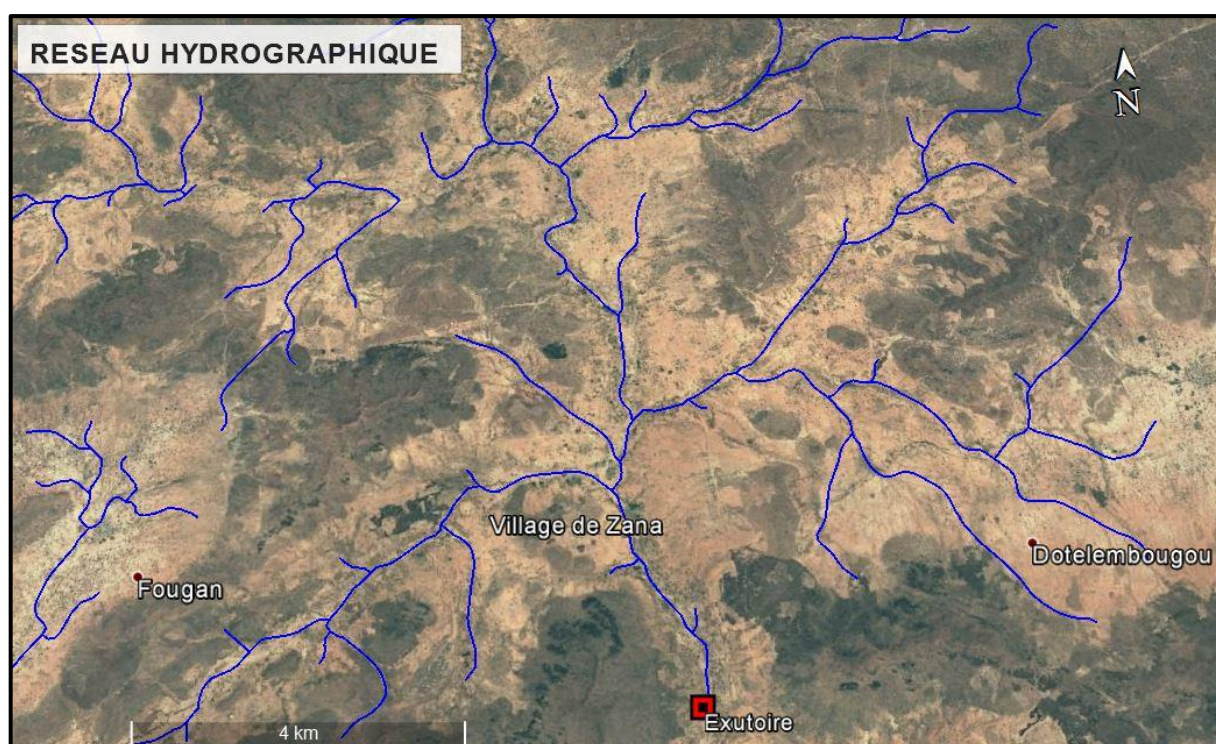


Figure 2: Hydrographie de Zana

III.METHODE ET MATERIELS :

3.1. Localisation de la zone d'étude :

Cette étude est effectuée dans le bas-fond de ZANA (figure 2) situé à environ 16 km au Nord-Ouest de Sirakorola son Chef-lieu de Commune.

Les coordonnées géographiques du site sont 7°27'39.37" Ouest pour 13°6'43.69" Nord

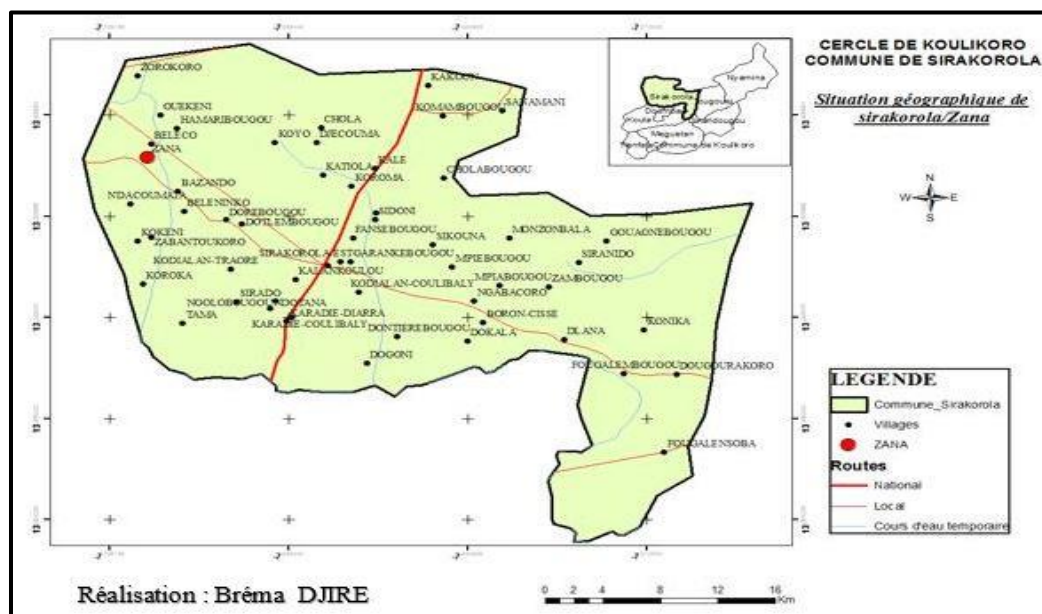


Figure 2: Localisation du site

3.2. Matériels :

Pour le traitement des données, nous avons utilisé les outils informatiques suivants :

- COVADIS : Pour le traitement des données topographiques (fond topographique et les profils en long) ;
- AUTOCAD : pour le dessin des plans ;
- GLOBAL MAPPER : pour la délimitation et caractérisation du bassin versant ;
- GOOGLE EARTH : pour la localisation du site

3.3. Méthodes :

Pour atteindre les objectifs de ce projet, nous avons adopté dans cette étude une démarche méthodologique s'articulant sur les points suivants :

- La recherche bibliographique : elle a consisté à consulter les anciens rapports d'étude sur les aménagements des bas-fonds, livres, cartes, et sur l'internet.
- La collecte des données de base du site a été basée sur les principes suivants :
 - ☞ Questionnaire
 - ☞ Entretien avec les exploitants, les autorités administratives et territoriales et les responsables du projet IPRO-REAGIR / KOULIKORO ;

☞ Visite du site à Zana.

- ❑ Analyse des acquis et des contraintes liées à l'exploitation des aménagements :
- ❑ Analyse des données collectées et établissement des données de bases pour l'aménagement hydroagricole.
- ❑ Conception de l'ouvrage.
- ❑ Elaboration du rapport d'avant-projet détaillé (APD) constitué d'un mémoire explicatif, d'une note techniques et des pièces dessinées.

3.3.1 Diagnostic participatif de la situation actuelle du bas-fond :

L'approche participative a été adoptée comme démarche pour la réalisation de cette étude avec une forte implication de tous les acteurs du village et des services techniques opérant dans la zone de l'étude. Ces acteurs ont ainsi contribué à la collecte des informations tant qualitatives que quantitatives.

3.3.2 Etudes socioéconomiques :

Des études socioéconomiques ont été menées sur la zone d'étude.

3.3.3 Etudes topographiques :

Une campagne d'études topographiques a été menée pour la période du 11 au 15 septembre 2016 sur le site de Zana.

3.3.4 Etudes géotechniques et pédologiques

Les études géotechniques et pédologiques ont été menées par le Laboratoire de Génie Civil de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs (ENI) de Bamako en vue de définir les caractéristiques du sol.

3.3.5 Etudes hydrologiques

3.3.5.1 Caractéristiques physiques et géomorphologiques :

❖ Superficie (S) :

La superficie du bassin versant a été déterminée à partir du logiciel Global Mapper

❖ Périmètre (P) :

Il est également obtenu à partir du même logiciel que la surface

❖ Indice de forme ou de compacité du bassin versant

Il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie et permet de comparer entre eux les bassins de superficie identique. Le coefficient de compacité de GRAVELIUS est exprimé à partir de la formule suivante :

$$k_c = \frac{p}{2(\pi * s)^{-1/2}}$$

Équation 1: indice de forme ou de compacité du bassin versant

❖ **Le rectangle équivalent :**

C'est le rectangle ayant même surface et même périmètre que le bassin versant, sa longueur (L), ainsi que sa largeur (l) sont données par les relations suivantes :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4}$$

Équation 2: La longueur du rectangle équivalent

$$l = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4}$$

Équation 3: La largeur du rectangle équivalent

S : la surface du bassin versant ;

P : le périmètre du bassin versant

❖ **La densité de drainage :**

La densité de drainage est le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la surface du bassin versant. Elle est déterminée par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S}$$

Équation 4: La densité de drainage

❖ **La pente moyenne du cours d'eau :**

Elle est calculée en mesurant la pente du cours d'eau principal (en générale c'est la pente du profil en long du lit mineur) après avoir éliminé les 20% de la partie supérieure et les 20% de la partie inférieure du Profil.

❖ **Pente transversale moyenne :**

Elle est déterminée en faisant la moyenne de quatre à six pentes transversales

❖ **Répartition hypsométrique :**

La courbe hypsométrique du bassin versant donnant le pourcentage de la superficie S du bassin versant située au-dessus d'une altitude donnée H, celle-ci permettra de déterminer Indice global de pente (Ig).

❖ **L'indice global de pente (Ig)**

Il est l'indice qui caractérise le relief du bassin et est défini par la formule suivante :

$$I_g = \frac{\Delta H}{L} \quad \text{avec } \Delta H = 5\%H - 95\%H$$

Équation 5: L'indice global de pente

❖ **L'indice global de pente corrigé ($I_{g\text{Corr}}$) :**

La pente transversale est trop différente de la pente longitudinale, on calcule alors un Indice global de pente corrigé ($I_{g\text{Corr}}$). Il est donné par l'expression suivante :

$$I_{g\text{Corr}} = \frac{[(n - 1) * I_g + I_t]}{n}$$

Équation 6: L'indice global de pente corrigé

3.3.5.2 Prédétermination de la crue du projet :

La détermination de la crue de projet consiste à déterminer le débit de crue pour lequel on souhaite protéger son ouvrage(FAO, 1998).

Le bassin versant n'ayant pas été jaugé, les méthodes spécialement mises au point pour les petits bassins versants de l'Afrique occidentale et centrale sont celles utilisées pour la prédétermination des débits de crue et des apports (M.L.COMPAORE, 1996). Les deux méthodes ici employées sont les méthodes CIEH et ORSTOM. Le détail de calcul est donné en [Annexe I.3](#)

❑ **Détermination de la crue décennale par les méthodes ORSTOM et CIEH :**

❖ **Méthode ORSTOM :**

Elle s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km², relevant de la zone sahélienne et de la zone tropicale sèche(FAO, 1998).

La zone d'étude étant situé en zone sahélienne, avec un bassin peu boisé d'une couverture assez abondante et une pente du terrain relativement faible on admet que le bassin versant appartient à la classe RI (P3) des catégories de perméabilité, le débit de crue décennal est déterminé par l'expression suivante :

$$Q_{10} = 1,06 Q_{r10} \text{ avec} \\ Q_{r10} = AP_{10} K_{r10} \alpha_{10} S / T_{b10}$$

Équation 7: Le débit décennal par la méthode ORSTOM

Q_{10} : Débit de crue décennal par la méthode ORSTOM (m³/s)

Q_{r10} : Débit de pointe du ruissellement superficiel décennal (m³/s)

A : Coefficient d'abattement de VUILLAUME

P₁₀ : Pluie journalière décennale (mm), atlas CIEH (1985)

K_{r10} : Coefficient de ruissellement décennal, obtenu par interpolation K_{r70} - K_{r100}

α_{10} : coefficient de pointe de la crue décennale, généralement pris égal à 2,6

S : Superficie du bassin versant

T_{b10} : Temps de base de la crue décennale

❖ Méthode CIEH « où méthode statistique »

Elle a été établie sur la base d'un échantillon de 162 bassins versants répartis en Afrique francophone, peut être employée sur des bassins allant jusqu'à 1000 km², relevant de la zone tropicale sèche ou sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et du Centre.

$$Q_{10} = aS^s Pan^p Ig^i Kr^k Dd^d$$

Équation 8: Le débit décennal par la méthode CIEH

Q₁₀ : Débit de crue décennal (m³/s)

a, s, p, i, k, et d sont de coefficient de régression multiple

S : Superficie du bassin versant ;

Pan : Pluies moyenne annuelle (mm) ;

I_g : Indice global de pente (si corrigé, se référer à la corrigée) ;

Kr₁₀ : Coefficient de ruissellement décennal, déterminé sur des abaques ORSTOM ;

D_d : Densité de drainage ;

❑ **Débit de projet :**

Le débit du projet est le débit maximum admis par le projet et pour lequel l'aménagement doit être résistant. Le débit du projet est donné par la formule :

$$Q_{\text{projet}} = C * Q_{10}$$

Équation 9: Débit de projet

C : est un coefficient de sécurité représentant le risque accepté au dépassement de Q₁₀.

Le choix de ce paramètre important revient à l'ingénieur aménagiste et sera fait en fonction de la sécurité recherchée de l'ouvrage et de son coût.

Les indications suivantes sont à observer :

- C= 1,45 en acceptant un risque élevé ;
- C= 2 à 3 en prenant un risque faible.

Le choix du coefficient C doit tenir compte de la durée de vie minimale de l'ouvrage fixée à 30 ans et des biens qui pourraient être endommagés en cas de rupture du barrage (habitations, vergers, valorisation...). Dans notre cas, une rupture éventuelle de l'ouvrage n'affectera pas les habitations et les vergers dans le bas-fond.

3.3.5.3 Analyses fréquentielles des pluies :

Les analyses fréquentielles des pluies ont été faites grâce aux données pluviométriques recueillies à la station de Sirakorola.

☞ Série des pluies moyennes annuelles : 1989-2015 (27 valeurs retenues)

Ajustement par la loi de Gauss :

Fonction de répartition :

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

Paramètres de la loi : sont la moyenne $\bar{x}$ et l'écart type S

☞ Série des pluies maximales journalières : 1989-2015 (27 valeurs)

Ajustement par la loi de GUMBEL :

Fonction de répartition :

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}}$$

Paramètres de la loi :

x_0 = paramètre de position

$\frac{1}{a}$ = paramètre d'échelle

3.3.5.4 Etude des apports :

Il s'agit d'estimer en volume les apports d'eau du bassin versant afin de s'assurer du remplissage de la retenue sur un cycle annuel (Puech et Chabi-Gonni du CIEH, 1983). Les apports proviennent des pluies, mais il faut tenir compte du déficit d'écoulement dû à l'évaporation. Ces apports sont évalués par les formules de TRUC et COUTAGNE :

$$V_{\text{apports}} = K_e * P * V_{\text{BV}}$$

Équation 10: volume des apports d'eau du bassin versant

V_{apports} : le volume des apports annuels (m^3) ;

K_e : Coefficient d'écoulements obtenus par les formules de TRUC et COUTAGNE ;

P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm) ;

V_{BV} : Surface du bassin versant (km^2).

❖ Vérification du remplissage de la retenue aux apports en année quinquennale sèche et décennale sèche :

En année quinquennale sèche : $K_{e5} = 0.6 * K_e$

En année décennale sèche : $K_{e10} = 0.5 * K_e$

3.3.6 Etudes hydrauliques et Dimensionnement du barrage

3.3.6.1 Etude de la retenue :

➤ **Estimation des besoins en eau et des pertes**

Hypothèses de calculs

❖ **Besoins agricoles :**

Les cultures concernées sont :

- La riziculture pluviale
- Le maraîchage en saison sèche.

Les besoins spécifiques sont :

- Riz : 160m³/j/ha
- Maraîchage : 70m³/j/ha

Les besoins en eau pour la riziculture pluviale sont largement satisfaits avec les précipitations et ne participent pas à l'exploitation de la retenue.

❖ **Besoins pastoraux :**

Le Cheptel du village est estimé à 1 700 UBT. La consommation spécifique est de 40l/j/UBT.

La répartition saisonnière de cette consommation est la suivante :

- Octobre – Novembre : 50% de prélèvement au barrage,
- Décembre – Mai : 100% de prélèvement au barrage

❖ **Pertes par infiltration :**

Les pertes par infiltration dépendent de la nature du sol de la cuvette. L'infiltration d'une retenue est variable dans le temps. En effet l'infiltration dans une retenue diminue avec le temps avec l'apport et le colmatage des éléments fin. Les mesures faites sur les bassins versant en Afrique sub saharienne par l'ORSTOM donne des valeurs comprises entre 1 et 2 mm/j ; soit une moyenne mensuelle de :

Infiltration moyenne mensuelle : 4,6 mm

❖ **Pertes par évaporation :**

Elles sont évaluées par les estimations de BERNARD POUYOT de l'ORSTOM (tableau 1).

Nous obtenons :

Tableau 1: Evaporation sur quelques périodes de l'année

Date	15/09 – 15/10	15/10 – 15/11	15/11 – 15/12	15/12 – 15/01	15/01 – 15/02	15/02 – 15/03	15/03 – 15/04
Pertes par évaporation (mm/j)	4,46	5,00	5,38	5,60	6,00	7,00	8,00

➤ **Dépôts solides :**

L'eau de ruissellement entraîne avec elle des matériaux solides arrachés le long de son parcours. Ces matériaux se déposent dès que la vitesse de l'eau devient inférieure à un seuil et peuvent conduire au comblement de la retenue. Il devient donc intéressant de déterminer le volume d'envasement et le temps d'envasement de la retenue. L'envasement est fonction des caractéristiques du bassin versant (nature du sol, pentes, pluviométrie, végétation etc.)(Dr Harouna KARAMBIRI et Dr Dial NIANG, 2009).

Les méthodes de Collet et F. Gresillon ont été utilisées pour évaluer les dépôts solides

✓ Méthode de Collet :

$E = 523Q.I$ Avec

E : Volume d'envasement

Q : débit moyen naturel (m³/s)

I : pente moyenne du cours d'eau

✓ Méthodes de F. Gresillon :

$$D = 700 * \left(\frac{P}{100} \right)^{-2.2} * S^{0.1} \text{ et } V = D * S$$

D = dégradation spécifique annuelle (m³/km²/an) ;

P = Pluviométrie annuelle (mm) ;

S = Superficie du bassin versant (km²) ;

V = Volume des dépôts solides (m³/an)

3.3.6.2 Etude de la digue et des ouvrages annexes

A) Dimensionnement de la digue :

➤ **Hauteur de la digue (E) :**

La hauteur de la digue est la côte normale de la retenue des eaux majorée de la lame d'eau au-dessus du déversoir et de la revanche et elle est calculée à partir de la formule suivante

$$E = H + h + R$$

Équation 11: Hauteur de la digue

E = hauteur totale de la digue (m)

H = hauteur normale de la retenue (m)

h = la lame d'eau au-dessus du déversoir (m)

R = revanche (m)

➤ **Largeur de la crête :**

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

$$l_c = 1.65 \sqrt{E} \quad \text{avec } l_c = \text{largeur de la crête (m)}$$

$l_c = 4$ (m), nous retenons une largeur de crête $l_c = 5$ (m).

➤ **Revanche libre**

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

Elle est exprimée par la formule de Mallet et Pacquant

$$R = \left(h + \frac{V_v^2}{2g} \right) * A$$

Équation 12: Revanche libre

R= revanche en (m)

h = hauteur des vagues (m) ,

V = vitesse de propagation des vagues (m/s),

g = accélération de la pesanteur (m/s²),

A = coefficient de sécurité pris égal à 0,75

➤ **Tranchée d'ancrage :**

La tranchée d'ancrage sera remblayée en matériau étanche bien compacté (OPN), afin de lutter contre les lignes préférentielles d'infiltration le long. Le calcul de la tranchée se fait suivant la règle de LANE:

$$P_{min} = \frac{CH - \sum L_h/3 - \sum L_v}{2}$$

Équation 13: Expression de la règle de LANE

P_{min} : Profondeur minimale de la tranchée d'ancrage du déversoir (m)

L_v : longueur verticale

L_h : longueur horizontale

H : la hauteur d'eau en amont du déversoir

C : coefficient de LANE dépendant de la nature du sol de fondation. Les sondages géotechniques montrent l'existence d'un sol argileux A6 ou A4 de faible consistance sur l'axe de l'ouvrage. C=3 (en rive gauche et au milieu)

➤ **Infiltration et hydraulique interne :**

Cette étude consiste à analyser les conditions d'étanchéité des corps de remblai (Puech et Chabi-Gonni, 1983), tout en sachant que les infiltrations peuvent causer trois phénomènes qui sont :

- La ligne de saturation ou ligne phréatique
- Le débit de fuite
- La pression interstitielle de l'eau dans le massif (sous pression).

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

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \quad \text{Avec } d = l_f - \frac{0.7 h}{\tan \alpha}$$

Équation 14: La parabole de KOZENY

h = charge d'eau à la côte PHE (m) ;

d = largeur en base du barrage diminuée de $0,7b$;

b = projection horizontale de la partie mouillée du parement amont ;

k_r = coefficient de perméabilité du remblai de la digue (remblai compacté) ;

α = angle du talus amont ;

B) Évacuateur des crues :

➤ **Laminage des crues :**

Le laminage des crues consiste à chercher une solution optimale sur la longueur du déversoir à l'arrivée de la crue de projet (GUEYE, 2014a). L'objectif du calcul est de définir deux paramètres clés qui sont : la longueur du seuil déversant, la lame d'eau maximale au-dessus du déversoir. Dans le cadre de cette étude, nous utiliserons la méthode « X0 ».

Le problème de laminage peut être traduit par équation différentielle suivante

$$Q_c(t) - Q_e(z) dt = A(z) dz$$

$$\text{Loi de débit } Q_{cmax} = m * L1 * \sqrt{2g} * h^{3/2} \text{ (seuil dénoyé)}$$

$$L_{approx} = \frac{Q_{cmax}}{m * \sqrt{2g} * h^{3/2}}$$

L_{approx} = longueur du seuil déversant (m)

Q_{cmax} = débit de la crue du projet

m = coefficient du débit pris 0.425h (profil creager)

g = accélération de la pesanteur $10 \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$

h = lame au-dessus du seuil pris égal à 0.8 (m),

$$X_{01} = \frac{m^2 g * L^2 Q_{cmax} * t_m^3}{s^3}$$

$$Q_{emax} = \beta_1 * Q_{cmaxi}$$

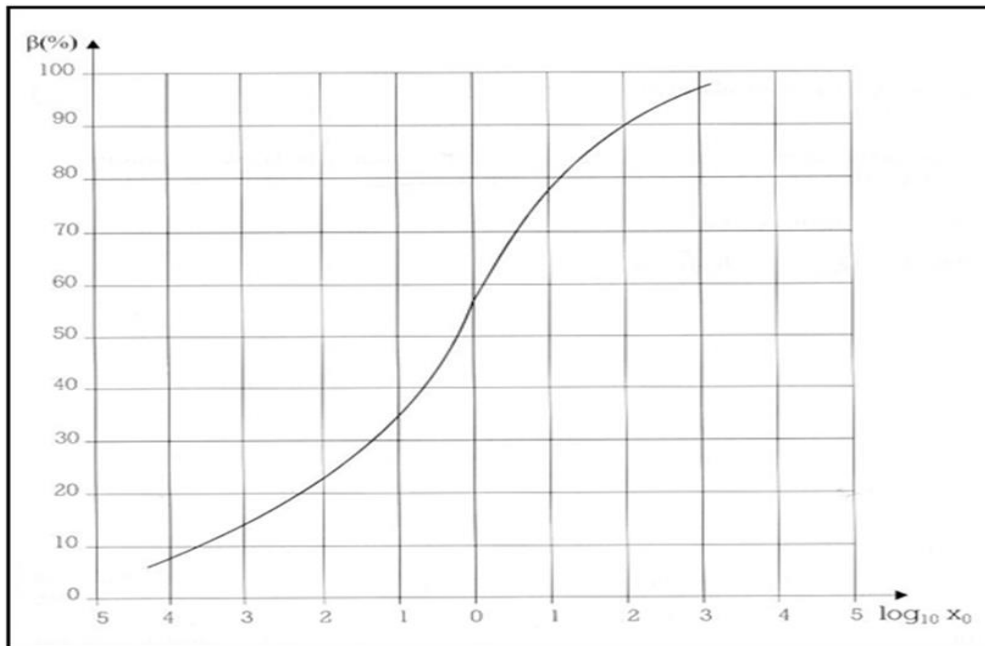


Figure 3: Abaque du coefficient de laminage

➤ Bassin de dissipation :

Le bassin de dissipation est la partie de l'évacuateur qui sert à dissiper l'énergie de chute et son action érosive. Il doit pouvoir contenir le ressaut hydraulique à l'aval. Les détails sont donnés en [annexe III.1](#)

o Détermination de la longueur de protection après le bassin

Il s'agit de dissiper l'énergie résiduelle après le bassin dans un volume à raison de 3 Cv/m³.

Cette protection sera faite en enrochement.

L'efficacité du ressaut est donnée par :

$$E_2/E_1 = [(8F_r^2 + 1)3/2 - 4F_r^2 + 1] / (8F_r^2 * (2 + F_r^2))$$

Les paramètres de l'équation sont les suivants :

E_2/E_1 = L'efficacité du ressaut (rapport des énergies spécifiques) ;

Fr = nombre de Froude

➤ Etude de la stabilité du déversoir :

L'étude de stabilité du barrage en poids concerne l'équilibre de l'ensemble de l'ouvrage.

L'ouvrage doit résister au glissement sur la fondation et au renversement. Les actions mises en jeu sur une tranche latérale de 1 m du déversoir font intervenir, le poids propre du

déversoir, la poussée hydrostatique amont, les sous-pressions, effectivement la poussée des sédiments accumulés à l'amont et la poussée hydrostatique aval.

❖ **Stabilité au glissement :**

La vérification de la stabilité au glissement revient à comparer la force tangentielle de glissement admissible sous le mur avec la composante tangentielle réellement appliquée.

$$F_G = \frac{C * S + \sum(W - P_i) \tan \phi}{\sum(P)} \geq 1$$

F_G = coefficient de glissement ;

W = poids propre de l'ouvrage ;

P_i = sous pression ;

C = la cohésion du sol de fondation

❖ **Stabilité au renversement :**

Dans un premier temps, on suppose que le mur pivote autour du point B et on calcule les moments des forces motrices (poussée de l'eau et sous- pression) et forces résistantes (poids propre de l'ouvrage). Le rapport des deux moments est considéré comme le facteur de sécurité au renversement.

$$F_R = \frac{\sum M_{résistants}}{\sum M_{moteurs}}$$

Ensuite on vérifie la règle du tiers central c'est-à-dire que la résultante des forces appliquée au déversoir, coupe l'ouvrage dans la zone correspondant au tiers central de la base. Pour cela, On calcule le moment résultant par rapport au point D, centre de la section à la base du déversoir.

❖ **Stabilité au poinçonnement :**

La résistance au poinçonnement est assurée lorsque la pression normale sous le massif est toujours inférieure à la pression admissible du sol.

$$\sigma_{min} \leq \sigma_{max} \leq \sigma_{adm.sol}$$

C) Ouvrage de régulation et vidange :

Le calcul du débit d'évacuation du pertuis permet de déterminer le temps de vidange de la retenue en fonction du volume d'eau compris entre la hauteur H du plan d'eau maximale et la hauteur h à évacuer.

Ceci permet de voir si le temps de vidange est compatible avec les techniques culturales et la durée de submersion supportable par la culture pratiquée.

Pour une vidange totale, il faudra diminuer la hauteur d'eau au niveau de la retenue de la côte 301,00 m à la côte 297,25 m (côte fond pertuis).

- ❖ Le Volume d'eau à évacuer est donné par :

$$V = S_1 \times \frac{H}{2,67} - S_2 \times \frac{h}{2,67} \text{ avec}$$

S1 et S2 : surfaces du plan d'eau aux côtes H et h

- ❖ Le débit moyen du pertuis est donné par :

$$Q = m \times L \times \sqrt{2g} \times \left(\frac{H-h}{2}\right)^{3/2} \text{ avec}$$

Q : débit du pertuis en m³/s

m : coefficient de débit du seuil déversant en batardeaux = 0,4

L : longueur du batardeau (m)

g : accélération de la pesanteur (m)

IV.RESULTATS ET DISCUSSION

4.1Résultats

4.1.1Diagnostic participatif de la situation actuelle du bas-fond :

Actuellement le périmètre est exploité en cultures sèches, en riziculture, en maraichage et autres cultures industrielles. En saison pluvieuse,une vingtaine d'hectares de terre est exploitée en riziculture (6 ha), en mil (12 ha) et en sésame (0,5 ha). La taille moyenne des parcelles de cultures maraichères est de l'ordre de 0,30 m sur 0,40m (Photo 1). La tomate, l'oignon et le poivron sont les principales cultures maraichères à Zana.



Photo 1 : Parcelles pour la culture maraichère et culture sèche

Chaque famille possède des terres exploitées par ses membres. Cette gestion obéit aux règles de gestion coutumière. Car les propriétaires terriens dans le bas-fond sont tous de la famille TRAORE et sont au nombre de huit (8) exploitations. Le village de zana a une expérience des aménagements de bas-fond. Un ouvrage sous la forme de pont digue (Photo 2) a été construit en 2012 à la demande du village. Mais cet ouvrage n'est pas très fonctionnel à cause de la hauteur insuffisante et de la dégradation en cours. Malgré les difficultés, la riziculture et le maraichage sont des activités connues et pratiquées aussi bien par les femmes et les hommes.



Photo 2 : Pont radier dans le village de Zana

Les contraintes à une bonne exploitation du bas fond sont réelles. Il s'agit d'abord du mauvais fonctionnement de l'ouvrage qui ne retient pas assez d'eau pour une longue période. Aussi les

puisards maraichers s'assèchent dès le mois de décembre. La seconde contrainte majeure est liée à l'enclavement du village d'où des difficultés d'écoulement des produits. Perspectives d'exploitation

❖ **Objectifs de l'aménagement**

Le projet d'aménagement du bas-fond de Zana est effectivement inscrit dans le programme du plan de sécurité alimentaire de la commune rurale de Sirakorola (2008-2012). Les objectifs de l'aménagement sont essentiellement (par ordre de priorité selon les villageois) :

- ✓ Désenclavement du village par rapport à Sirakorola à travers la construction d'un micro barrage sur le marigot ;
- ✓ Amélioration de la production rizicole et maraîchère par une plus grande disponibilité des terres et une augmentation de la productivité ;
- ✓ L'accès facile aux marchés et aux fournisseurs ;
- ✓ Le rechargement de la nappe phréatique qui pourrait apporter une solution au déficit d'eau dans le village.

4.1.2 Études socioéconomiques :

4.1.2.1 Les Activités de production agricole :

L'Agriculture est la principale activité du village. Les habitants cultivent du mil, sorgho, maïs, l'arachide, le manioc, niébé, riz etc.

Les sécheresses cycliques des années 1971-1973 et 1983-1985 ; les effets négatifs cumulés de ces catastrophes naturelles ont conduit à une diminution progressive de la production rizicole et maraîchères dans les bas-fonds. La riziculture pluviale laisse donc place de plus en plus à la céréaliculture sèche avec comme principale spéculation le sorgho.

Le maraîchage est pratiqué avec beaucoup de difficultés dans les bas-fonds et constitue la principale activité pendant la contre saison. Elle est beaucoup plus pratiquée par les femmes.

4.1.2.2 Les Activités génératrices de revenus/AGR :

La production maraîchère est peu développée et se limite à de petites parcelles aménagées et mises en valeur par les femmes afin de disposer d'ingrédients pour les sauces et des revenus monétaires. L'activité de maraîchage est pratiquée avec l'eau de la rivière quand elle est disponible, sinon les planches sont arrosées par l'eau des puits qui sont souvent à 6 m à 10 m de profondeur.

Le maraîchage est consacré à la production d'oignons, de tomates, gombos, haricots, piments, d'aubergines, concombre etc.

Malgré la présence de quelques vergers dans le bas fond, les revenus de l'arboriculture sont très faibles à cause du manque de débouchés sur les grands marchés et la vulgarisation des variétés à fort taux de conservation.

4.1.2.3 Les Infrastructures socio-économiques :

Le village de Zana est d'accès assez facile, mais le manque d'ouvrage de franchissement sur le bas-fond perturbe énormément les liaisons en hivernage. L'accès aux localités voisines se fait par des pistes peu praticables surtout pendant la saison hivernale.

Les infrastructures sanitaires se résument à une maternité rurale pour les accouchements et les petits soins. Les infrastructures hydrauliques se résument à deux (02) forages équipés de pompes à motricité humaine, deux (02) puits modernes et des puits traditionnels qui tarissent tous en saison sèche.

4.1.3 Études topographiques :

Du 11 au 15 septembre, une campagne topographique a été menée sur le site de Zana. Elle s'est déroulée en six phases, les résultats obtenus se résument comme suite :

- La mise en place de polygones ayant servi de base au nivellement et à l'implantation des bornes, au total treize (13) bornes dont sept (07) sur la rive gauche (G1, G2, G3, G4, G5, G6 et Z), Six (06) sur la rive droite (1, D1, D2, D4, D5 et D6). Une borne intermédiaire Z1 a été également implantée.
- La matérialisation des axes préférentiels de l'ouvrage par des bornes
Pour une couverture totale du bas fond, l'équipe a eu recours à des bornes antennes qui n'ont pas fait l'objet de scellement.
- Le plan d'ensemble du bas-fond à l'échelle 1/2000 avec des courbes de niveau d'une équidistance de 0,5 m ;
- Les profils en long et travers des axes proposés aux échelles 1/1000 et 1/100

Il faut noter cependant que le lit mineur contenait par endroits beaucoup d'eau (profondeur d'eau supérieure à 1,70m dans la ravine) ; ce qui a rendu les levés de détail du lit mineur très difficile.

TABLEAU2: La liste des bornes implantées

LISTING DES BORNES DU BAS FOND DE ZANA			
MATRICULES - BORNES	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	643819,7211	1475905,1115	302,8930
D1	643748,9715	1476073,9951	303,9690
D2	643697,8558	1476290,3972	304,5540
D4	643520,3694	1477151,3147	305,0510
D5	643479,1579	1477316,5068	305,3880
D6	643383,9371	1477455,8803	305,3090
G1	644355,5988	1475719,4739	302,5630
G2	644412,7053	1475948,4421	301,1780
G3	644393,4795	1476258,6154	303,5440
G4	644289,0403	1476690,9993	303,2770
G5	644160,8265	1476936,9553	303,1950
G6	643842,2246	1477427,6718	307,7950
Z	643976,1030	1477269,0838	304,9640

4.1.4 Études géotechniques et pédologiques

Les études géotechniques et pédologiques ont été menées par le Laboratoire de Génie Civil de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs (ENI) de Bamako en vue de définir les caractéristiques du sol prévu pour la fondation du pont barrage et de classer les différents sols rencontrés dans le bas fond sous la supervision du Consultant.

4.1.4.1 Études Pédologiques ou Prospection de Surface

La topo séquence a permis de cerner le processus de reconstitution des sols au niveau de chaque unité de paysage. L'examen de la structure des sols en surface a permis d'identifier trois (03) unités de sols. Une, deux ou trois sondages ont été faits sur chaque unité de sols à des profondeurs variables. Des tests in situ ont été pratiqués sur chaque faciès de sols rencontrés pour permettre leur classification. Certains échantillons ont fait l'objet d'analyses en laboratoire.

- ❖ Unité de sols SU1 : (Sondages S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9, S11 S13 et S14) elle occupe la partie basse de la cuvette là où l'humidité s'accumule avec une submersion temporaire par l'eau. Les unités sont des sols limono argileux à hydromorphie temporaire humifères. Les

couches profondes sont constituées d'argile. Les sols sont de couleur noirâtre ou grisâtre en surface et jaunâtre, parfois jaune –blanchâtre en profondeur et leurs caractères moyens sont les suivants :

- 30 cm : texture limono-argileuse, sols humifères peu compacts ;
- 30 - 70cm : texture argilo- limoneuse compacte, absence d'éléments grossiers, couleur gris noirâtre ;
- 70- 1,50 cm : texture argileuse, couleur gris jaunâtre tacheté ;
- Au-delà de 1,50cm : texture argileuse, couleur jaunâtre tachetée de rouge.

Nom vernaculaire : Bogofing

Contraintes : inondation régulière

Aptitudes culturales : apte aux cultures sèches (sorgho, mil, maïs), apte aux cultures maraîchères, apte à la riziculture, marginalement apte à l'arboriculture (en cas de forte pluviométrie).

- ❖ Unité de sols SU2 : (Sondage S5, S10, S12 et S15). Les sols sont sablo – limoneux : Cette frange située en prolongement vers l'aval des versants au niveau du raccordement avec le bas de la cuvette, forme une surface bordant la plaine inondable. Les sols sont constitués par un recouvrement sous forme de biseau sablo limoneux avec moins de 15% d'argile. Les sols sont "beiges" et leurs caractères moyens sont les suivants :

- 20cm : texture sablo – limoneux, friable, absence d'éléments grossiers,
- 20cm – 100 cm : texture limon – argileux, absence d'éléments grossiers, couleur brun - jaunâtre ;
- Au-delà de 100 cm : texture à tendance argilo limoneux jaunâtre souvent tachetés de rouge.

Nom vernaculaire : N'gakan

Contraintes : forte perméabilité, profil d'enracinement faible, faible pouvoir de rétention

Aptitudes culturales : apte aux cultures sèches (sorgho, mil, maïs), apte aux cultures maraîchères, moyennement apte à la riziculture, apte à l'arboriculture.

- ❖ Unité de sols SU3 (Sondage S14, S17 et S18). Les sols sont constitués d'un glaciais limoneux nu : Cette frange située en hauteurs, forme des sols de glaciais d'érosion occupant presque toutes les deux rives. On y observe en hauteur quelques recouvrements gravillonnaires accompagnés d'affleurement curassique surtout sur les deux rives. Les caractères moyens des sols sont les suivants :
- 15 cm : texture limoneux rougeâtre, absence d'éléments organiques, présence ou non d'un recouvrement gravillonnaire ;

- 15 cm – 150 cm : texture à tendance argilo limoneux jaunâtre souvent tachetés de couleur rouge ou présence de carapace cuirassique à moins de 1,0m de profondeur.

Nom vernaculaire : N'gakan blé ou Bèlè N'Gakan

Contrainte : forte perméabilité, Fertilité déficiente, érosion, Niveau topographique

Aptitudes culturales : peu apte aux cultures sèches, marginalement apte pour le maraîchage, marginalement apte pour la riziculture, apte à l'arboriculture.

Le tableau 3 résume les différentes unités de sol et leurs aptitudes culturales.

Tableau 3: Carte des sols et aptitudes culturales

Unités de sols	Contraintes	Aptitudes culturales	Superficie (ha)	Illustrations
SU1 : sols de bas fond à hydromorphie temporaire <i>Bogofing</i>	Difficultés de drainage Submersion régulière par endroit	Apte au riz Apte au maraîchage Marginalement apte à l'arboriculture	71, 0	
SU2 : Sols sablo – limoneux <i>N'gakan</i>	Forte perméabilité, profil d'enracinement faible, faible pouvoir de rétention	Moyennement apte au riz Apte au maraîchage Apte à la céréaliculture Apte à l'arboriculture peu exigeante	44,30	
SU3 : Sols sablo – limoneux <i>N'gakan blé ou Bèlè N'gakan</i>	Fertilité déficiente Erosion Niveau topographique	Marginalement apte au riz Moyennement apte au maraîchage Peu apte à la céréaliculture Apte à l'arboriculture	37,0	

4.1.4.2 Etudes Géotechniques ou Prospection en Profondeur

Pour s'assurer de la nature des sols en profondeur, une étude géotechnique a été réalisée sur l'axe prévisionnel de l'ouvrage faisant l'objet des sondages profonds. Au total quatre (04) puits ont été réalisés (S1, S2, S3, S4) à des profondeurs allant de 2,50 à 3,00 m. Les sondages le long de l'axe ont pour but :

- D'identifier les couches de fondation de l'ouvrage (profondeur, nature, texture, caractéristiques physiques et mécaniques etc.)
- De connaître le niveau de la nappe phréatique en vue d'une estimation éventuelle de l'ancrage de l'écran d'étanchéité de l'ouvrage

La structure des couches de sols rencontrées sur les sondages profonds (S1, S2, S3, S4 et S5) le long de l'axe de l'ouvrage montre :

- ❖ Sur la rive Gauche et dans le lit mineur
 - Une frange de terre perméable en surface (moins de 1,00m de profondeur) ;
 - Une frange de sol semi-perméable jusqu'à 2 à 3m de profondeur ;
 - Une frange de sol sablo-argileux assez compacte entre 4 et 6 m de profondeur.

Le coefficient de LANE qui sera employé pour l'étude de la tranchée d'ancrage en rive gauche est : $C = 3$.

- ❖ Sur la rive droite
 - Une frange de sol perméable en surface (moins de 50cm de profondeur) ;
 - Une frange de sol cuirassé à très faible perméabilité à partir de 50 cm.

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

De façon générale il ressort que les sondages et puits maraîchers atteignent la nappe phréatique à des profondeurs de 5 à 6 mètres. Au-delà de cette profondeur le sol de l'aquifère devient gravillonnaire à sablonneux. Sur les berges les nappes atteignent des profondeurs de 6 à 10 m à cause de leur situation en hauteur.

Face au problème d'eau souterrain, il serait intéressant d'analyser des possibilités d'aménagement pouvant contribuer à un rehaussement de la nappe.

- ❖ Recherche des Carrières de matériaux de construction

Les zones de carrière des matériaux de construction (gravier, moellon, sable, latérite et argile) reconnues présentent des caractéristiques dont les valeurs sont jugées satisfaisantes de l'avis des spécialistes du Laboratoire et du Consultant (Cf. Rapport Labo- ENI).

Le tableau 4 donne la position des carrières par rapport au site.

Tableau 4: Site des carrières des matériaux

Désignation du matériau	Nature	Carrière ou lieu de provenance	Distance / site	Observations
Eau de construction	-	à travers les puits creusés dans le bas fond ou par forage dans le village	3 km	Conseillée
Sable	Sable du fleuve	Koulikoro (Fleuve Niger)	75 km	Conseillée
	Sable de ruissellement	dans le village le long des ruisseaux	6-8 km	Non conseillée
Gravier	Gravier du fleuve	Koulikoro (fleuve Niger)	75 km	Conseillée
	Gravier latéritique	Dans le terroir (quelques poches)	5-10 km	Peu conseillée après lavage
Moellon	Moellon de gré	Plateau de N'tiéni à l'Ouest	1 km	Conseillée
	Moellon latéritique	Plateau environnant	2 km	Non conseillée
Argile	Argile plastique de bas fond	Bas fond en amont	5 km	Conseillée
Latérite	Latérite rouge	Sur les plateaux environnant	4 km	Conseillée
Ciment	CPA ou CPJ 45	importé		Conseillée
Fer à béton	HA	- Koulikoro, ou importé	75 km	Conseillée

4.1.5 Etude hydrologique :

4.1.5.1 Caractéristiques physiques et morphologique du bassin versant :

L'exutoire du bassin versant sur l'axe de la digue est défini aux coordonnées :

Tableau 1: Coordonnées du barrage de Zana

Longitude	Latitude	Description
7°27'39.37" Ouest	13°6'43.69"Nord	Coordonnées de la borne G1 en rive gauche

Les caractéristiques du bassin versant sont les suivants (cf. [Annexe I.1](#))

Tableau 2: Les caractéristiques du bassin versant

CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT		INDICES/VALEURS
Climat		Sahélien
Surface (Km2)		704,25
Périmètre (Km)		144
Elévation maxi		484
Elévation min		338
Pluviométrie annuelle (mm)		750
Pente Moyenne (%)		1,26
Indice compacité/ Indice de forme		1,5
Longueur de rectangle équivalent (Km)		60
Largeur de rectangle équivalent (Km)		12
Pentes	Indice global de pente (formule de GRESILLON)	1,0
	Pente transversale (obtenue sur 6 profils)	5,83
	Indice global de pente corrigé	3
Longueur du réseau hydrographique (Km)		308,6
Densité de drainage (Dd)		0,438
Dénivelée spécifique (Ds) (m)		70,41
Typologie du bassin suivant la taille		Grand bassin versant
Typologie du réseau hydrographie		Dentritique
Typologie du relief		Relief modéré
Classe d'infiltrabilité		RI(P3)
Classe du bassin en fonction de la pente		R3

4.1.5.2 Prédétermination de la crue du projet :

Outre la prise en compte des apports annuels pour le dimensionnement de l'ouvrage, l'on tient aussi compte des pluies exceptionnelles qui peuvent engendrer des crues qui ne pourraient pas être supportables par l'ouvrage. La détermination de la crue de projet consiste à déterminer le débit de crue pour lequel on souhaite protéger son ouvrage (FAO, 1998).

Le bassin versant n'ayant pas été jaugé, les méthodes spécialement mises au point pour les petits bassins versants de l'Afrique occidentale et centrale sont celles utilisées pour la prédétermination des débits de crue et des apports (M.L.COMPAORE, 1996). Les deux méthodes ici employées sont les méthodes CIEH et ORSTOM. Le détail de calcul est donné en [Annexe I.3](#)

Détermination de la crue décennale par les méthodes ORSTOM et CIEH :

❖ Méthode ORSTOM :

L'ORSTOM a fait une évaluation des ressources en eau non pérennes du Mali où il a déterminé par mesure hydrométrique ou par reconstitution "utilisation de modèle" les paramètres d'écoulement nécessaires pour le calcul de la lame d'eau et de la crue décennale.

Elle s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km², relevant de la zone sahélienne et de la zone tropicale sèche (FAO, 1998).

La zone d'étude étant située en zone sahélienne, avec un bassin peu boisé d'une couverture assez abondante et une pente du terrain relativement faible on admet que le bassin versant appartient à la classe RI (P3) des catégories de perméabilité.

Tableau 3: Les paramètres de prédétermination de crue par la méthode ORSTOM

A	Coefficient d'abattement de Vuillaume	0,71
P10	Pluie décennale journalière (mm)	84.32
Kr10	Coefficient de ruissellement décennal (%)	11,47
α 10	Coefficient de pointe de la crue décennale	2,6
S	Superficie du bassin versant (Km ²)	704,25
Tb10	Temps de base de la crue décennale (mn)	2 781

Tableau 4: Résultats du calcul de débit par la méthode ORSTOM

Paramètres	Valeurs
Temps de base : Tb (s)	166866
Temps de montée (s)	1067
Lame d'eau ruisselée décennale (mm)	7
Volume ruisselé décennal (m ³)	4820597
Débit moyen ruisselé décennal (m ³ /s)	29
Coefficient de pointe décennal (α_{10})	2,60
Débit de retour décennal (m ³ /s)	75
Débit de crue décennal (m ³ /s)	80

La valeur de $Q_{10 \text{ ORSTOM}} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$

❖ Méthode CIEH « où méthode statistique »

Elle a été établie sur la base d'un échantillon de 162 bassins versants répartis en Afrique franco-phone, peut être employée sur des bassins allant jusqu'à 1000 km², relevant de la zone tropicale sèche ou sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et du Centre.

Tableau 5: Détermination du débit par la méthode CIEH

Méthode CIEH									
Equation	r	a	S	Ig	Pan	PM10	Kr10	Dd	Q 10
N°			(Exp)	(Exp)	(Exp)	(Exp)	(Exp)	(Exp)	(m3/s)
6	0,773	1,83	0,62	0,618				0,121	95
10	0,898	0,0833	0,696	0,953			1,038		98
12	0,892	0,095	0,643	0,406			1,038		80
42	0,869	0,0912	0,643	0,399			1,019		74

La valeur retenue est celle de la tendance moyenne, soit $Q_{10 \text{ (CIEH)}} = 87 \text{ m}^3/\text{s}$

4.1.5.3 Débit de crue décennal retenue :

Les deux méthodes (ORSTOM et CIEH) de prédétermination, nous donne des valeurs du même ordre de grandeur ; Au regard des différentes valeurs et vue l'étendue du bassin versant et de la sécurité recherchée, nous pouvons donc adopter une valeur maximale, soit le débit de crue de la méthode CIEH.

$Q_{10 \text{ (CIEH)}} = 87,00 \text{ m}^3/\text{s}$
--

4.1.5.4 Débit de projet :

Le débit de projet est déterminé à partir du débit de crue décennal et du coefficient de majoration par la méthode du GRADEX. Selon GRADEX Soit

$$Q_{\text{projet}} = 218 \text{ m}^3/\text{s}$$

La crue centennale maximale aurait conduit à des dimensions assez considérables pour un potentiel aménageable moins répondant.

Bien qu'elle offre plus de sécurité même au-delà de la durée de vie fixée de l'ouvrage pour l'étude elle augmente de façon considérable le coût de l'ouvrage.

D'autant plus que la crue décennale maximale offre la sécurité recherchée pour la durée de vie fixée de l'ouvrage, elle sera retenue comme la crue de projet pour un meilleur optimum "objectif – coût – sécurité".

4.1.5.5 Analyses fréquentielles des pluies

Données disponibles :

- ❖ Série des pluies moyennes annuelles : 1989-2015 (27 valeurs retenues)

Sur cette série, on fera un ajustement par la loi de Gauss qui se justifie par le fait que le mode, la moyenne et la médiane sont proche, et également par la nature des données.

- ❖ Série des pluies maximales journalières : 1989-2015 (27 valeurs)

Ajustement par la loi de GUMBEL à cause de la nature extrême de la série (tableau 11).

Tableau 6: Pluies moyennes annuelles

Moyenne annuelle	748,53	Ecart type	112,8
Médiane	740,5	Maximum	980,3
Mode	744,31	Minimum	586,8

Tableau 7: Ajustement par la loi de GAUSS (pluies annuelles)

Période sèche			Durée de	Période humide		
		Pluie (mm)	Retour (ans)			Pluie (mm)
		485,76	100			1011,30
		517,33	50			979,73
		604,17	10			892,89

Tableau 8: Ajustement par la loi de GUMBEL (pluie maximales journalière)

Période sèche			Durée de	Période humide		
		Pluie (mm)	Retour (ans)	Up	Fréquences	Pluie (mm)
		32,41	100			116,62
		34,65	50			107,02
		41,93	10			84,32

4.1.5.6 Etude des apports

Il s'agit d'estimer en volume les apports d'eau du bassin versant afin de s'assurer du remplissage de la retenue sur un cycle annuel (Puech et Chabi-Gonni du CIEH, 1983). Les apports proviennent des pluies, mais il faut tenir compte du déficit d'écoulement dû à l'évaporation.

Tableau 9: Estimation du volume des apports

Paramètres	Valeurs
λ	0,21
D (m)	0,63
T : Température (°C)	28,5
K_e (%)	16
P (mm)	750
V_{BV} (km ²)	704,25
$V_{apports}$ (m ³ /an)	84 510 000

- ❖ Vérification du remplissage de la retenue aux apports en année quinquennale sèche et décennale sèche :

Tableau 10: Vérification du remplissage de la retenue aux apports en année quinquennale sèche et décennale sèche

Périodes	Pluie (mm)	K_e	Volume écoulé
Année quinquennale sèche	657,86	9,60	50 706 000
Année décennale sèche	604,17	8,00	42 255 000

(Cf. [Annexe I.5](#))

4.1.6 Etudes hydrauliques et dimensionnements du barrage :

4.1.6.1 Etude de la retenue :

A) Courbe hauteur volume et hauteur surface :

Après avoir placé l'axe de la digue, nous avons pu tracer la courbe hauteur-Surface et Hauteur-Volume, en calculant la surface moyenne entre les plans finis par courbes de niveau se refermant sur notre axe de la digue du barrage sur le plan topographique

Ces données ont permis de tracer les courbes hauteur-Volume et Hauteur-Surface. (Cf.

[Annexe II.1](#))

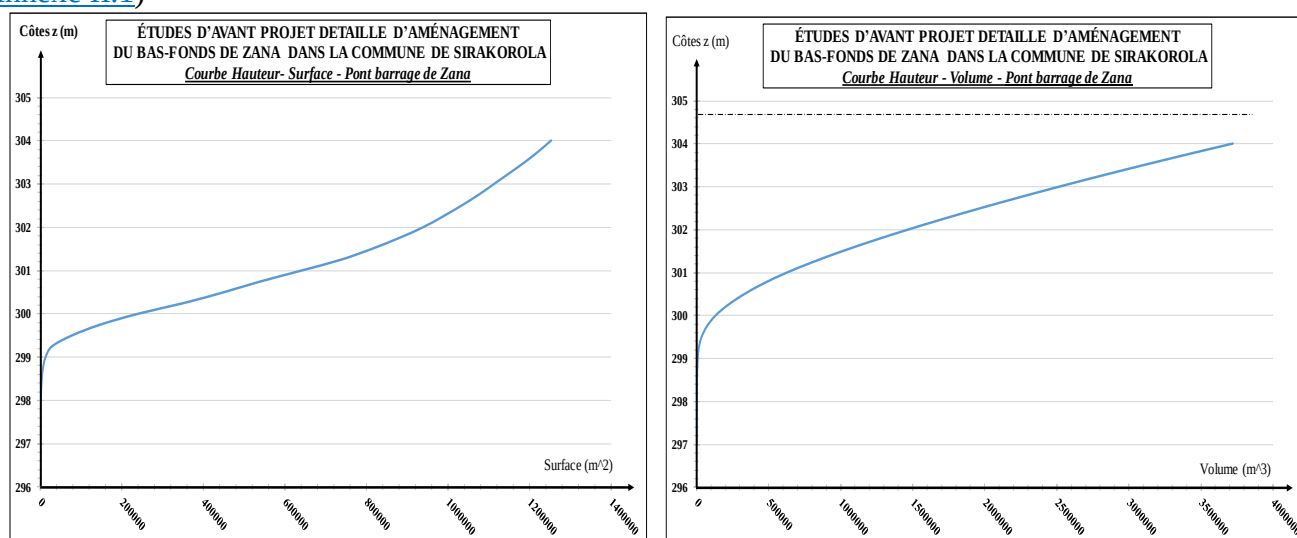


Figure 4: Courbe hauteur volume et hauteur surface

B) Calage du plan d'eau normal (PEN) :

Le calage est fait de façon à assurer les besoins en eau avec une marge suffisante ; ce qui revient à une exploitation de la courbe hauteur volume surface (courbe d'exploitation de la retenue). La variable étant la superficie exploitable. Ici, nous nous baserons sur la topographie, les aspects d'ordre économiques et l'extension possible de surfaces aménageables pour proposer les choix suivants qui devront être justifié par les études hydrologiques et hydrauliques.

Tableau 11: Calage du plan d'eau normal (PEN)

Désignation	Côte(m)	Surface du plan d'eau (m2)	Volume Stockée (m ³)
Plan d'Eau Normal (PEN)	301,00	8750971	625 818,37

C) Estimation des besoins en eau et des pertes :

L'objectif du projet est d'assurer la riziculture pluviale, le maraîchage et l'arboriculture en saison sèche ainsi que l'abreuvement éventuel des animaux.

❖ Besoins en eau agricole :

Les cultures concernées sont :

- La riziculture pluviale
- Le maraîchage en saison sèche.

Les besoins spécifiques sont :

- Riz : 160m³/j/ha
- Maraîchage : 70m³/j/ha

	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Riz pluvial												
Maraîchage												

❖ Besoins en eau du cheptel

Le Cheptel du village est estimé à 1 700 UBT. La consommation spécifique est de 40l/j/UBT.

La répartition saisonnière de cette consommation est la suivante :

- Octobre – Novembre : 50% de prélèvement au barrage,
- Décembre – Mai : 100% de prélèvement au barrage

❖ Pertes par infiltration

Afrique sub saharienne par l'ORSTOM donne des valeurs comprises entre 1 et 2 mm/j ; soit une moyenne mensuelle de 0,046 m/mois

❖ Pertes par évaporation

Elles sont évaluées par les estimations de BERNARD POUYOT de l'ORSTOM. Nous obtenons :

Tableau 12: Estimation des pertes par évaporation

Date	15/09 – 15/10	15/10 – 15/11	15/11 – 15/12	15/12 – 15/01	15/01 – 15/02	15/02 – 15/03	15/03 – 15/04
Pertes par évaporation (mm/j)	4,46	5,00	5,38	5,60	6,00	7,00	8,00

Tableau 13: Récapitulatif des besoins et pertes

	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Maraîchage (m3/ha)	2 100	2 100	2 170	2 170	2 030	2 170	2 100	2 170
Besoin du Cheptel (m3)	1 054	1 020	2 108	2 108	1 904	2 108	2 040	2 108
Pertes (m)	0,2	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28

Tableau 14: Le volume total des besoins et pertes

Besoins en eau	Volume (m3)
Maraîchage(m3/ha)	341 600
Besoin du Cheptel (m3)	7 125
Pertes (m)	992 965
Total	1 341 689

❖ Dépôts solides :

✓ Méthode de Collet :

$$E = 7\,162 \text{ m}^3/\text{an}$$

✓ Méthodes de F. Grésillon :

$$D = 16 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an} ;$$

$$V = 11\,283 \text{ m}^3/\text{an}$$

NB : Nous obtenons **E= 11 283 m3/an**.

Par comparaison au volume de la retenue, il faudra 42 ans pour que la retenue soit complètement envasée ; ce qui est envisageable avec la durée de vie de l'Ouvrage de 30 ans.

Temps d'envasement TE= **41 ans**.

D) Courbe d'exploitation de la retenue :

Pour l'exploitation de la retenue l'hypothèse suivante a été analysée :

☞ Hypothèse :

Maraîchage de contre saison : cette situation se situe dans l'alternative où tout se déroule normalement et que le riz pluvial arrive à maturité avec la pluviométrie. Dans ce contexte la

retenue sera exploitée uniquement en contre saison pour le maraîchage. En effet l'effet d'épandage crée par l'ouvrage et la régulation du plan d'eau par les batardeaux devra assurer la maturité du riz.

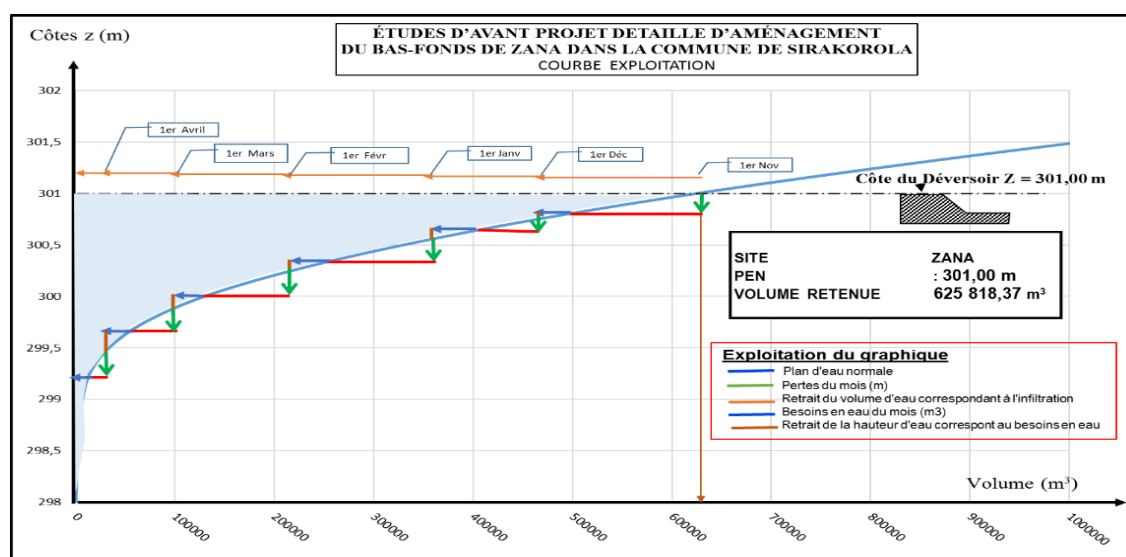


Figure 5: Courbe exploitation de la retenue

👉 Analyse des courbes d'exploitation

De l'analyse de la courbe d'exploitation de la retenue, il ressort que le volume de la retenue de l'ouvrage principal est assez faible par rapport aux besoins. Ceci dénote d'ailleurs l'intérêt d'envisager une maîtrise des eaux souterraines. Les constats suivants se dégagent :

La retenue pourra survenir aux besoins en eau jusqu'en mi-Avril. Cette analyse suppose une exploitation directe de l'eau de la retenue. En réalité l'utilisation de la retenue se fera au moyen des puits maraîcher à travers la nappe. Il est donc clair qu'il ne faudra pas compter beaucoup sur le volume de stockage de la retenue pour les cultures de contre saison.

Les besoins complémentaires seront donc satisfaits par l'exploitation de la nappe souterraine. Pour atteindre une superficie d'exploitation importante pour le maraîchage de contre saison, le rehaussement de la nappe phréatique est très important pour limiter la corvée liée au puisage de l'eau. A titre d'exemple, la superficie exploitable pour une nappe à 3m de profondeur est approximativement le double si la nappe phréatique est à 9 et 10m de profondeur.

4.1.6.2 Etude de la digue et des ouvrages annexes :

4.1.6.3 Etude de la digue :

❖ Hauteur de la digue (E) :

La hauteur de la digue est la cote normale de la retenue des eaux majorée de la lame d'eau au-dessus du déversoir et de la revanche.

Après les calculs la hauteur de la digue vaut $E = 5 \text{ (m)}$ au droit du lit mineur. Il est donc recommandé une pente de talus amont de 2/1 et une pente de talus aval également de 2/1.

❖ Largeur de la crête :

La largeur de la crête est dimensionnée en fin de permettre la circulation des engins et facilité entretien de l'ouvrage (Dr. Ismaïla GUEYE, 2014b).

$l_c = 4 \text{ (m)}$, nous retenons une largeur de crête $l_c = 5 \text{ (m)}$.

❖ Tranchée d'ancrage :

La tranchée d'ancrage sera remblayée en matériau étanche bien compacté (OPN), afin de lutter contre les lignes préférentielles d'infiltration le long. Le calcul de la tranchée se fait suivant la règle de LANE

La tranchée ancrage sera de forme trapézoïdale, avec comme pente de talus 1H/3V (ce qui facilitera la mise en œuvre par les engins de chantier). La profondeur obtenue est de 1,5 m, pour une largeur en gueule de 4,6 m au droit du lit mineur.

❖ Infiltration et hydraulique interne :

Cette étude consiste à analyser les conditions d'étanchéité des corps de remblai (Puech et Chabi-Gonni du CIEH, 1983), tout en sachant que les infiltrations peuvent causer trois phénomènes qui sont :

- La ligne de saturation ou ligne phréatique
- Le débit de fuite
- La pression interstitielle de l'eau dans le massif (sous pression).

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

En appliquant la loi de Darcy le débit unitaire $q = 1.29 * 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}/\text{ml}$

Le débit total d'infiltration à travers la digue vaut $Q = 5,54 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ soit un volume infiltré de 1747,09 m³/an ce qui est très négligeable. (Cf. [Annexe III.3](#))

Après avoir déterminé le débit de fuite il est possible d'évaluer l'épaisseur du drain $e = 65 \text{ cm}$ sur une longueur de $l_d = 5 \text{ m}$

❖ **Protection de la digue :**

▪ **Crête :**

La crête de la digue sera recouverte par une couche de couronnement (couche de roulement) en graveleux latéritique de 20 cm d'épaisseur. Elle aura une pente transversale de 3% vers l'aval pour éviter les stagnations d'eau sur la crête et les désagréments liés au ruissellement sur le talus aval.

Au niveau de la jonction de la digue avec les ouvrages en béton, il est prévu un mur en maçonnerie de moellon de 30 x 30 m à chaque côté.

▪ **Talus :**

Le talus amont sera recouvert en enrochement libre (perré sec) fait de moellons latéritiques d'épaisseur 25 cm minimum. L'enrochement sera bloqué par une butée de pied de forme triangulaire (largeur en gueule de 2,00 m pour une profondeur de 0,4m – talus 2H/1V).

Le talus aval sera recouvert d'une couche de matériaux latéritiques de 20 cm d'épaisseur (compactés à 98% de l'OPN). Un drain de pied sera aménagé en pied de talus pour la collecte des eaux pluviales et des eaux percolant à travers le remblai. Il sera rempli d'enrochements rangés à la main et de même caractéristiques géométriques que la butée de pied amont.

Tableau 15: Caractéristiques de la digue route

Hauteur maximale de la digue (m)	5,00
Largeur en crête de la digue (m)	5,00
Pente du talus amont	2 H/1V
Pente du talus aval	2H/1V
Larguer à la base (m)	23,6
Longueur de la digue (m)	400

4.1.6.4Evacuateur de crue :

La digue est de type routier, comportant un déversoir-radier. Cela permettra de faciliter le trafic entre Zana en rive droite et les villages avoisinants, en rive gauche. Le déversoir sera en position **latérale**. Il a été calé à la côte PEN, soit **301,00 m**. (Cf. [Annexe III.1](#))

❖ **Laminage des crues :**

Le laminage des crues consiste à chercher une solution optimale sur la longueur du déversoir à l'arrivée de la crue de projet. L'objectif du calcul est de définir deux paramètres clés qui sont : la longueur du seuil déversant, la lame d'eau maximale au-dessus du déversoir.

En utilisant la méthode EIER-CIEH (méthode du « x0 »), on détermine la longueur du seuil déversant par itération en fixant la lame d'eau déversante. Par le même procédé, il est possible

de se fixer une longueur de seuil déversant, et de déterminer par itération la lame d'eau déversante.

Longueur du seuil déversant : $L = 120$ m

Lame d'eau déversante : $h = 0,7$ m.

Tableau 16: Itération par la méthode "X0"

L	X0	LOG10_X0	beta	Qemax	Lnew
198,173302	9,69259712	0,99	77%	167,86	153
152,593442	5,74674083	0,76	74%	161,32	147
128,812646	4,09512228	0,61	62%	135,16	123
120,885714	3,60661539	0,56	61%	131,89	120
119,894848	3,54773286	0,55	60%	131,78	120

❖ Revanche libre

La revanche est une tranche d'eau comprise entre le PHE et la crête du barrage. Cette hauteur permet de protéger la digue des risques d'invasion, son calcul doit tenir compte de la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau et vitesse du vent (M.L.COMPAORE, 1996).

$R = 0,89$ (m)

L'examen du résultat montre que cette formule empirique établie sur des ouvrages importants donne des valeurs de revanche élevée eu égard à notre ouvrage. Nous nous baserons donc sur des revanches couramment utilisées dans les cas analogues ainsi nous adopterons donc une revanche moyenne de 35 cm.

❖ Bassin de dissipation :

Le bassin de dissipation est la partie de l'évacuateur qui sert à dissiper l'énergie de chute et son action érosive. Il doit pouvoir contenir le ressaut hydraulique à l'aval.

Tableau 17: Caractéristiques géométriques du bassin de dissipation

Désignations	Unités	Valeurs
Lame d'eau sur le déversoir	h (m)	0,7
Hauteur d'eau maximale (PEN)	H (m)	2,60
Enfoncement du bassin	D (m)	0,6
Débit de crue laminé	Q (m ³ /s)	218
Débit unitaire	q (m ³ /s/ml)	1,83
Vitesse d'eau au-dessus du seuil	V ₀ (m/s)	2,60
Ligne d'eau	H ₀ (m)	2,00
Hauteur de chute	Z(m)	3,64
Tirant d'eau avant ressaut	Y ₁ (m)	0,29
Vitesse d'eau à l'entrée du bassin	V ₁ (m/s)	6,23
Froude	Fr	2,60
Bassin retenue	Bassin de type I en cyclopéen	
Tirant d'eau conjugué	Y ₂ (m)	0,94
Longueur du bassin de dissipation	L(m)	8
Hauteur du seuil terminal	h ₄ (m)	0,35
Hauteur de blocs chute	h ₁ (m)	0,30
Distance entre blocs de chute	e ₁ (m)	0,30

- Détermination de la longueur de protection après le bassin

Il s'agit de dissiper l'énergie résiduelle après le bassin dans un volume à raison de 3 Cv/m³.

Cette protection sera faite en enrochement.

La longueur de Protection vaut $l_p = 5,44$ m

Nous adopterons donc une longueur de protection du bassin de 5,0 m. Cette protection sera assurée par :

- ✓ Une première ligne de gabion de 2,00m ;

- ✓ Une première ligne d'encrochement libre de 3,00 m ;

❖ **Tranchée d'ancrage du déversoir**

Pour freiner les phénomènes de renard, il est nécessaire d'ancrer d'une profondeur suffisante le déversoir. La valeur de l'ancrage minimum calculée est $P_{\min} = 0,70$ m. Nous adoptons donc un ancrage maxi de $P_{\max} = 1,20$ m à cause de la présence de dépôts sédimentaire sur une profondeur considérable.

NB : La valeur de p est variable en fonction de la hauteur du déversoir par rapport au TN (Cf profil du déversoir).

❖ **Etude de la stabilité du déversoir :**

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

▪ **Stabilité au glissement :**

Vérifier la stabilité au glissement, nous revient à comparer la force tangentielle de glissement admissible sous le mur avec la composante tangentielle réellement appliquée.

▪ **Stabilité au renversement :**

Dans un premier temps, on suppose que le mur pivote autour du point B et on calcule les moments des forces motrices (poussée de l'eau et sous- pression) et forces résistantes (poids propre de l'ouvrage). Le rapport des deux moments est considéré comme le facteur de sécurité au renversement.

Ensuite on vérifie la règle du tiers central c'est-à-dire que la résultante des forces appliquée au déversoir, coupe l'ouvrage dans la zone correspondant au tiers central de la base. Pour cela, On calcule le moment résultant par rapport au point D, centre de la section à la base du déversoir.

▪ **Stabilité au poinçonnement :**

La résistance au poinçonnement est assurée lorsque la pression normale sous le massif est toujours inférieure à la pression admissible du sol.

NB : Même si la stabilité du déversoir est assurée, le déversoir subit des tassements au fil du temps. C'est pourquoi le déversoir devra être réalisé par tronçons de 10 m de long pouvant subir des déplacements relatifs. Les joints de dilatation munis de dispositif water stop seront prévus à chaque 10m.

Tableau 18: Caractéristiques du Déversoir

Nature	Déversoir – radier en béton cyclopéen
Débit de dimensionnement (Q_p)	218 m ³ /s
Charge maximale	0,70 m
Longueur utile (longueur de déversement)	120,00 m
Pente des rampes	5,25 %
Longueur des rampes (20 m de part et d'autre)	40,00 m
Longueur en gueule	160,00 m
Hauteur maxi / TN	2 ,00 m
Largeur en crête	5,00 m
Talus amont (V/H)	Vertical
Talus aval (V/H)	1/1
Tranchée d'encrage : profondeur maxi (avec l'écran)	1,20 m

4.1.6.5 Ouvrage de régulation ou de vidange :

L'ouvrage permettra non seulement la régulation du niveau de l'eau pour une bonne exploitation de la retenue, mais aussi de vidanger, afin de faciliter la récolte. Il est constitué de deux pertuis munis de batardeaux métalliques. Il est localisé en partie centrale, entre les profils P13 et P15 au droit du lit mineur. Les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 19: Caractéristiques de l'ouvrage de régulation ou de vidange

Désignation	Position du pertuis	Dimension du pertuis	Ouvrage de régulation
Pertuis de vidange	Profil P13 à P15	02 pertuis de 150 x 200	Batardeau métallique munis de glissière Nombre=16 Dimensions : Batardeau de 25x200 cm
Temps pour une vidange de la retenue à la côte des pertuis			6 heures

Les batardeaux sont des éléments en métallique, permettant la régulation du plan d'eau en fonction de la montée des cultures. Ils seront réalisés en tôle noire 10/10ème sur encadrement

en cornière de 40 mm. Ils recevront deux (02) couches de peinture anticorrosive et trois (03) couches de peinture à huile. Ils seront munis d'anneaux pour le démontage. Les batardeaux seront livrés avec les tiges de démontage et les joints étanches de montage.

4.1.6.6 Avant-métré et coût des travaux :

L'avant métré est établi sur la base des plans. Le devis estimatif a été proposé sur la base des prix unitaires des travaux similaires réalisés dans la zone du projet. Le coût total des travaux est estimé à **325 259 462 FCFA HT**. (Cf. [Annexe IV](#))

4.1.6.7 Etudes de rentabilité économique et financière :

4.1.6.7.1 Eléments de base de calcul :

Les éléments de base pour l'estimation du taux de rentabilité interne du projet sont essentiellement liés aux valeurs et charges de production, ainsi que les estimations du coût de l'investissement déterminé par l'option technique retenue. La durée du projet pour le type d'ouvrage retenue pour le site de Zana est de 30 ans.

□ Données des résultats pédologiques :

Les études techniques et les études pédologiques, ont permis de déterminer les superficies aménageables y compris leurs aptitudes culturales. La disponibilité de l'eau permettra la pratique de la double culture. Au total 145 hectares de terres seront exploitables après l'aménagement du bas-fond.

Le plan d'exploitation proposer dans le cadre de l'exploitation de ce périmètre est le suivant :

❖ En hivernage

Riziculture hivernale sur l'Unité SU1 et les parties basses de US2 soit 69 hectares ;
Maraichage hivernage (éventuellement culture de piment ou de tomate) sur les parties hautes de l'Unité SU2 soit environ 20 hectares ;
Culture sèche (maïs) sur les parties hautes de l'unité US2 et les parties basses de l'unité US3 soit environ 15 hectares

❖ En contre saison

Maraichage sur les Unités SU1, SU2, soit au minimum un potentiel de 130 hectares.

❑ **Choix de combinaison de cultures :**

Le tableau ci-dessous nous donne la combinaison des cultures envisagées

Tableau 20: Cultures de contre saison et superficies

Cycle de de production	Cultures	Superficies réelles exploitées (ha)
Cycle hivernal	Riz	90
	Piment	5
	Maïs	15
	Tomate	4
	Oignon	
	Gombo	3
	Aubergine	3
	Sous total 1	120
Cycle de contre saison	Tomate	5
	Oignon	15
	Gombo	3
	Aubergine	2
	Sous total 2	25
Total campagne		145
Superficie aménagée		130
Taux d'exploitation		112%

❑ **Estimation des valeurs et charges de production :**

Les échanges avec un échantillon de producteurs ont permis d'établir pour chaque culture des comptes d'exploitation. Le tableau ci-dessous constitue une synthèse des comptes d'exploitation et indique les valeurs, les charges et les bénéfices d'exploitation à l'hectare (en francs CFA), ainsi que les rendements et les coûts de revient du kilogramme produit.

Tableau 21: Synthèse des comptes d'exploitation à l'hectare par culture

Spéculation	Produits d'exploitation	Charge d'exploitation	Bénéfice d'exploitation	Rendement moyen (Kg/ha)	Prix de revient du Kg
Riz	412 500	161 250	251 250	2 750	59
Piment	1 500 000	855 000	645 000	10 000	65
Maïs	375 000	232 250	142 750	3 000	77
Tomate	2 400 000	1 362 500	1 037 500	20 000	68
Oignon	3 750 000	1 835 000	1 915 000	25 000	73
Gombo	1 200 000	555 000	645 000	10 000	56
Aubergine	1 575 000	1 002 500	572 500	17 00	57

□ **Produits et charges d'exploitation du projet :**

Le présent tableau fournit les superficies emblavées par culture et par cycle. Il fournit également les données sur les valeurs des produits et charges d'exploitation du projet.

Tableau 22: Valeur de production et charges exploitation du projet

Cycle de de production	Culture	Superficies réelles exploitées (ha)	Produits totaux	Charges totales
Cycle hivernal	Riz	90	37 125 000,00	14 512 500
	Piment	5	7 500 000,00	4 275 000
	Maïs	15	5 625 000,00	3 483 750
	Tomate	4	9 600 000,00	5 450 000
	Oignon		-	-
	Gombo	3	3 600 000,00	1 665 000
	Aubergine	3	4 725 000,00	3 007 500
	Sous total 1	120	68 175 000	32 393 750
Cycle de contre saison	Tomate	5	18 750 000,00	9 175 000
	Oignon	15	18 000 000,00	8 325 000
	Gombo	3	4 725 000,00	3 007 500
	Aubergine	2	4 800 000,00	2 725 000
	Sous total 2	25	46 275 000	23 232 500
	Total campagne	145	114 450 000	55 626 250

La valeur moyenne annuelle des produits d'exploitation est de l'ordre de 114 450 000 francs CFA contre une valeur totale annuelle des charges d'exploitations de à 55 626 250 francs CFA.

❑ **Taux de rentabilité interne (TRI) :**

Le taux de rentabilité est de l'ordre de 17,75% sur la durée de vie du projet (30 ans). Ce TRI est intéressant comparativement à la plupart des projets d'aménagement de même nature dans la zone d'étude. Le coût moyen de l'investissement par hectare exploité est de 2 243 169 F CFA soit un coût total de **325 259 454 F CFA**, avec cet investissement, la DRI (Durée de Retour sur Investissement) est de 4,8 ans.

Tableau 23: Principaux indicateurs économiques du projet

Rubriques	Montant (en F CFA)
Coût des travaux en F CFA	325 259 454
Cumul des valeurs de production avec projet en F CFA	3 433 500 000
Cumul des valeurs de production avec projet en F CFA	1 668 787 500
Coût moyen annuel d'entretien en F CFA	1 940 715
Durée de vie du projet en années	30 ans
Coût des travaux/ha exploité en F CFA	2 243 169
Taux de rentabilité interne en %	17,75%
Délai de récupération en années	4,8 ans
Valeur actualisée nette au taux de 6,7% (VAN)	735 987 997
Valeurs production sans projet en F CFA	3 110 250
Valeur de production avec projet en F CFA	114 450 000
Production de paddy avant-projet en tonnes	12
Production de paddy avec projet	248
Productions de paddy supplémentaires en tonnes	236
Rendement de paddy sans projet en Kg/ha	1 500
Rendement de paddy avec projet en Kg/ha	2 750
Superficies exploitées sans projet en ha	20
Superficies exploitées avec projet en ha	145

❑ **Test de sensibilité :**

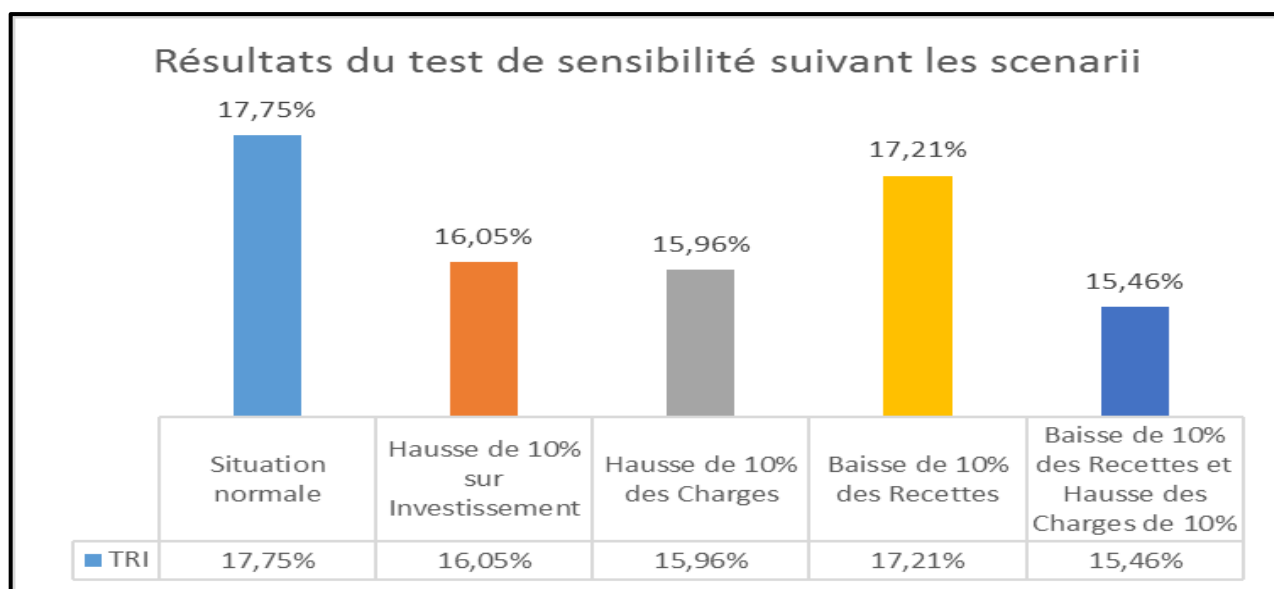
Dans le cas présent nous avons donc effectué ce test de simulations en tenant compte des variations d'un facteur ou deux à la fois. Le constat de ce test de sensibilité montre que le projet demeure intéressant même dans le cas extrême de hausse important des charges et une diminution des valeurs de production. Le cas plus édifiant est lorsque les charges augmentent de 10% en même temps que les recettes baissent de 10%. Dans ce cas de figure le TRI est de

15,46%. La situation la plus intéressante demeure la situation normale avec un TRI de l'ordre de 17,75%. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous

Tableau 24: Test de sensibilité

Scenarii	TRI	VAN	DRI
Situation normale	17,75%	735 987 997	4,8
Hausse de 10% sur Investissement	16,05%	735 987 997	5,8
Hausse de 10% des Charges	15,96%	664 828 870	5,2
Baisse de 10% des Recettes	17,21%	725 261 661	4,9
Baisse de 10% des Recettes et Hausse des Charges de 10%	15,46%	654 102 535	5,5

Le graphique ci-dessous donne les résultats de la variation du taux de rentabilité selon les scenarios.



V. Notice d'impact environnemental (NIE) :

Les autorités communales ainsi que les populations de Zana font sienne la réalisation du barrage de retenue des eaux de surface à Zana ou l'aménagement du site de Dlani. Tous affirment que c'est le seul le projet capable d'améliorer leurs conditions de vie (vu les retombées diverses qu'il peut engendrer) et les sources de financement de la commune.

Même si le projet enchante bien les villageois et les autorités communales, ils ne perdent pas de vue qu'il peut être la source de divers problèmes (maladies hydriques, fracture sociale, pollution des eaux, conflits autour de la ressource eau). Le niveau d'organisation et la cohésion sociale constatés dans le village, permettent de dire que les conséquences possibles liées à l'exploitation de la plaine seront maîtrisables.

V.5.1 Impacts sur l'environnement :

V.5.1.1 Impacts positifs :

L'aménagement et la mise en valeur du site pourraient améliorer l'état de la biodiversité : amélioration du couvert végétal herbacé et arboré, augmentation numérique de populations d'espèces végétales et l'arrivée d'une faune aquatique variée et plus abondante (poisson, batraciens, etc.).

V.5.1.2 Impacts négatifs

Les travaux de construction du micro barrage ou l'aménagement de « Dlani » auront un impact sur l'environnement, suite à la crue liée au micro barrage, pourrait entraîner la mort de centaines de pieds de manguiers et de karité dans le lit de la plaine. Lors des échanges avec les populations, ils préfèrent de loin la promotion des filières riz, à la production fruitière basée sur la mangue et le karité. Cet avis est partagé par les propriétaires des mangueraias ainsi que la population. Il semblerait que, les pieds de karités présents dans le bas-fond est négligeable comparé à ceux présents dans les territoires du village.

Vu la nature latéritique et de la sensibilité du sol, la construction du micro barrage pourra fortement affecter toutes les composantes de l'environnement (végétation, sol, air, nuisance sonore), mais de façon très localisée sur le site, et seulement pendant la durée des travaux de construction de l'ouvrage.

V.5.2 Impacts sur la population :

V.5.2.1 Impacts positifs

A travers l'amélioration des systèmes de production : les populations ainsi que les autorités communales sont unanimes que le projet est vital pour la relance des activités de production rurale de la commune en général et surtout du village de Zana en particulier.

V.5.2.2 Impacts négatifs :

Si les villageois et les autorités communales n'ont pas tari en évoquant les retombées positives de la retenue, ils ont néanmoins attiré l'attention du projet sur les conséquences fâcheuses qui pourraient en résulter :

- Prolifération des maladies liées à l'eau : paludisme, dysenterie, bilharziose, etc.
 - Pollution des eaux de surface et souterraines par l'utilisation excessive d'engrais dans le cadre des productions agricoles ;
- Conflits liés à la compétition autour de l'eau pour satisfaire les besoins en eau pour le maraîchage et pour l'abreuvement des animaux, surtout les animaux étrangers ;
- Conflits entre agriculteurs et transhumants ;
- Noyade des enfants ;
- Coupure pendant les jours pluvieux de la route conduisant au village de Sirakorola.

VI. Conclusion :

L'aménagement et la mise en valeur du bas de fond de Zana, correspond à une préoccupation majeure des autorités villageoises et communales. Ce projet offre d'immenses potentialités de développement socioéconomique villageois et communales ; il permet non seulement, la création des sources de revenus, mais aussi limite les exodes ruraux des jeunes vers les sites orpailleurs qui sont vivement souhaités par les populations.

Au vu de l'étude, l'ouvrage permettra de stocker plus de 625,82 mille mètres cube. Cette capacité permettra non seulement l'exploitation d'une superficie de 145 ha en amont de l'ouvrage, mais aussi de recharger la nappe et de l'abrévement des animaux. Avec l'aménagement de ce bas fond, les revenus vont augmenter sensiblement et les habitudes alimentaires vont aussi changer avec une amélioration de la situation nutritionnelle, en particulier pour les enfants et les femmes. Le taux de rentabilité de 17,75%, la durée de retour des investissements (DRI) de 4,8 ans et la valeur actualisée nette de l'ordre de 735 987 997 francs CFA sur la durée du projet sont des indicateurs très favorables pour la réalisation du projet.

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

VII. Recommandations :

Le présent projet d'étude du barrage de Zana, économiquement et techniquement viable, ne devrait pas se limiter à la simple réalisation. Pour assurer sa pérennité et garantir son bon fonctionnement, il est nécessaire que les parties prenantes élaborent un schéma d'organisation pour le suivi et l'entretien de l'ouvrage. La commune en tant que collectivité de base en charge de la réalisation des projets socio communautaires sur son terroir jouera le rôle de maître d'ouvrage (MO). A ce titre, elle veillera :

- ✓ Sur la bonne marche des activités de mise en œuvre dans les bas-fonds ;
- ✓ A l'entretien courant et correct des ouvrages par les bénéficiaires à travers des missions de suivi et de supervision ;
- ✓ A l'organisation des bénéficiaires dans le cadre du renforcement de leurs capacités.

Pour y arriver, nous formulons des recommandations suivantes :

❖ Surveillance des ouvrages

- L'observation visuelle régulière par l'exploitant ;
- La vérification périodique du bon fonctionnement des organes hydrauliques ;
- Les mesures des instruments d'auscultation ;
- La tenue à jour du registre de l'ouvrage ;
- Des visites techniques approfondies par les autorités compétentes de la commune.

On se disposera d'une méthode de surveillance clairement formalisée dans un document écrit.

❖ Entretien des ouvrages

L'entretien des ouvrages est indispensable pour garantir le bon fonctionnement et la pérennité des aménagements. Cet entretien doit être effectué couramment ou périodiquement. Les actions concernées sont les suivantes :

- Contrôle des joints de maçonneries ;
- Fauchage des mauvaises herbes après chaque hivernage sur les maçonneries ;
- Nettoyage des batardeaux si possible après chaque averse ;
- Remplacement des plaques de moellon endommagées ;
- Buchage des trous d'animaux fouisseurs (rats, souris, reptiles) ;
- Renouvellement des couches de protections antirouille sur cadre et éléments métalliques ;
- Curage des dépôts d'ordures éventuels ;
- Remise en place des enrochements de protection

VIII. Références Bibliographiques :

Coordination Gérard Degoutte (1997). PETITS BARRAGES : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi.

Dr Harouna KARAMBIRI et Dr Dial NIANG (2009). COURS HYDROLOGIE 1, 2ie.

Dr. Ismaïla GUEYE (2014a). Cours Evacuateurs de crues et ouvrages annexes, 2ie.

Dr. Ismaïla GUEYE (2014b). Cours Barrages en Terre, 2ie.

FAO (1998). 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.

giz (2014). Manuel technique des standards minima pour concevoir, réaliser et gérer les petits barrages au Mali.

M.L. COMPAORE (1996). Cours de Barrage, E.I.E.R.

Monrouré SAWADOGO (2014). Etude de la Reconstruction du barrage de la TAPOA dans la Région de l'Est.

Puech et Chabi-Gonni du CIEH (1983). PREDETERMINATION DES CRUES DE FREQUENCE DECENNALE DANS LES REGIONS SAHELIENNES ET TROPICALES SECHES.

ANNEXES

Annexes

<u>ANNEXE :</u>	52
<u>Annexe I. Etude hydrologique</u>	52
<u>I.1 Caractéristiques du bassin versant :</u>	52
<u>I.2 Analyses fréquentielles des pluies</u>	55
<u>I.3 Prédétermination de la crue du projet :</u>	57
<u>I.4 Crue du projet :</u>	58
<u>I.5 Etude des apports</u>	58
<u>Annexe II. Etude de la retenue</u>	59
<u>II.1 Courbe hauteur volume et hauteur surface</u>	59
<u>II.2 Estimation des besoins en eau et des pertes</u>	0
<u>II.3 Courbe d'exploitation de la retenue :</u>	3
<u>Annexe III. Etude de la digue et des ouvrages annexes</u>	5
<u>III.1 Evacuateur de crue :</u>	5
<u>III.2 Ouvrage de régulation ou de vidange (pertuis de vidange) :</u>	11
<u>III.3 Etude de la digue :</u>	11
<u>Annexe IV. Métré et Devis</u>	13
<u>V.1 Métré des ouvrages</u>	13
<u>V.2 Devis quantitatif et estimatif</u>	15
<u>Annexe V. Etude de rentabilité économique et financière :</u>	19
<u>V.1 Comptes d'exploitation des différentes spéculations</u>	19
<u>V.2 Calcul du Taux de Rentabilité Interne (TRI)</u>	26
<u>Annexe VI. Cartes et plans</u>	28
<u>VI.1 Carte du Bassin Versant</u>	28
<u>VI.2 Plan topographique du bas fond</u>	29
<u>VI.3 Profil en long de l'ouvrage</u>	30
<u>VI.4 Vue en plan</u>	31
<u>VI.5 Coupe et vue en plan de la Digue</u>	35
<u>VI.6 Coupe du Déversoir et Ouvrage de vidange</u>	36

ANNEXE :

Annexe I. Etude hydrologique

I.1 Caractéristiques du bassin versant :

➤ Délimitation :

La délimitation consiste à tracer la ligne de partage des eaux en suivant les lignes de crête tout en rejoignant l'exutoire. Elle a été faite avec le logiciel Global Mapper après localisation du site sur Google Earth. Il offre une lecture précise des lignes de ruissellement et des lignes de partage des eaux.

➤ **Caractéristiques physiques et morphologiques du bassin versant**

Superficie

La superficie du bassin versant de Zana a été déterminée à partir du logiciel Global Mapper

$$S = 704,25 \text{ km}^2$$

S comprise entre 10 et 200 km², nous avons à faire avec un petit bassin versant.

Le périmètre du bassin

Il est également obtenu sur logiciel indique ci-dessus

$$P = 144 \text{ km}$$

La longueur du cours d'eau principale est lp

$$lp = 38,66 \text{ km}$$

Indice de forme ou de compacité du bassin versant

Il en existe plusieurs. Il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même superficie et permet de comparer entre eux les bassins de superficie identique. Le coefficient de compacité de GRAVELIUS est exprimé formule suivante :

$$k_c = \frac{p}{2(\pi * S)^{-1/2}}$$

Ainsi, nous obtenons

$$k_c = 1,5$$

Cette valeur de Kc traduit un bassin légèrement allongé.

Le rectangle équivalent

C'est le rectangle ayant même surface et même périmètre que le bassin versant, sa longueur (L), ainsi que sa largeur (l) sont données par les relations suivantes :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4}$$

$$L = 60 \text{ km}$$

$$l = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16 * S}}{4}$$

$$l = 12 \text{ km}$$

La densité de drainage

La densité de drainage est le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la surface du bassin versant. Elle est déterminée par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S}$$

$$\sum L'_i = 16,2 \text{ km}$$

L' : longueur totale des cours d'eau (réseau hydrographique du bassin versant).

S : superficie du bassin versant

$$D_d = 0,44$$

La pente moyenne du cours d'eau

Elle est calculée en mesurant la pente du cours d'eau principal (en générale c'est la pente du profil en long du lit mineur) après avoir éliminé les 20% de la partie supérieure et les 20% de la partie inférieure du Profil.

Nous obtenons une pente moyenne de :

$$I_{\text{moy}} (\%) = 1,26$$

Selon la classification de l'ORSTOM, nous avons une pente de type **R3**

Pente transversale moyenne :

Elle est déterminée en faisant la moyenne de quatre à six pentes transversales. La valeur obtenue est égale à **5,53 m/km**.

Répartition hypsométrique

La courbe hypsométrique du bassin versant donnant le pourcentage de la superficie S du bassin versant située au-dessus d'une altitude donnée H , celle-ci permettra de déterminer l'Indice global de pente (I_g) comme indique sur la figure ci-dessous.

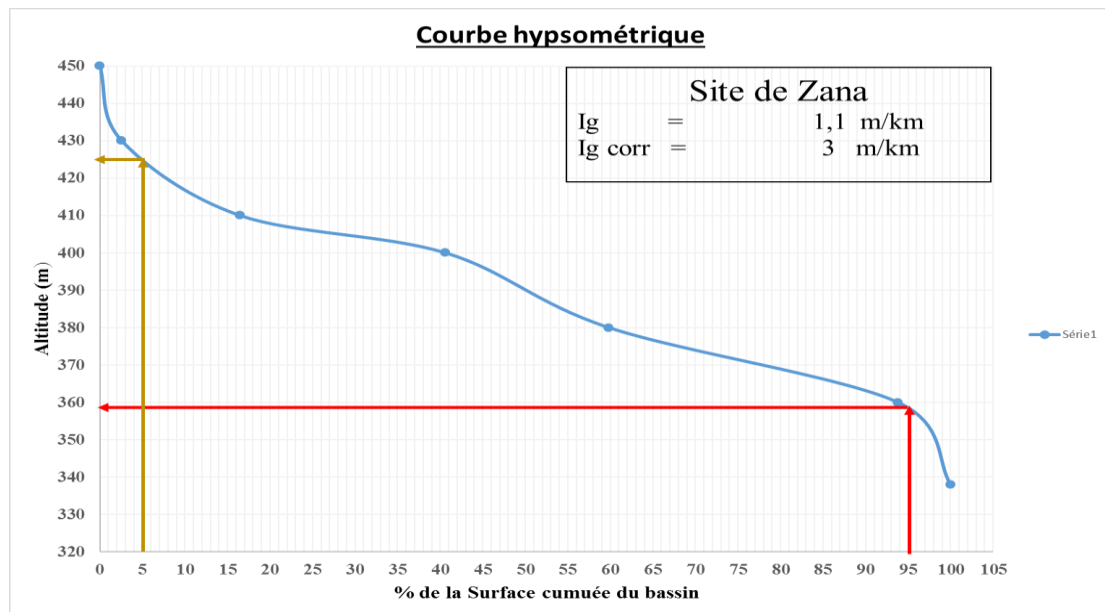


Figure 6: Courbe hypsométrique

L'indice global de pente (I_g) :

Il est l'indice qui caractérise le relief du bassin et est défini par la formule suivante :

$$I_g = \frac{\Delta H}{L}$$

Avec L = la longueur du rectangle équivalent en (km).

Le tableau ci-dessous nous donne la valeur de I_g calculé

Tableau 25: Détermination de la valeur de l'Indice global de pente I_g (m/km).

% de la surface cumulée bassin	Côtes (m)	Valeur de I_g (m/km)
5	425	1,1
95	359	

L'indice global de pente corrigé ($I_{g\text{Corr}}$) :

La pente transversale est trop différente de la pente longitudinale, on calcule alors un Indice global de pente corrigé ($I_{g\text{Corr}}$). Il est donné par l'expression suivante:

$$I_{g\text{Corr}} = \frac{[(n - 1) * I_g + I_t]}{n}$$

d'où $n = 3$ pour $5 < L < 25 \text{ km}$

$$I_{g\text{Corr}} \text{ (m/km)} = 3,00$$

$I_{g\text{Corr}} = 0,5\% < 0,9\% < 1\%$ donc le bassin versant à une pente modérée. Selon la classification de l'ORSTOM, nous avons un relief de Type R3

Tableau 26: caractéristiques du bassin versant

CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT		INDICES/VALEURS
Climat		Régime tropical
Surface (Km ²)		704,25
Périmètre (Km)		144
Elévation maxi		484
Elévation min		338
Pluviométrie annuelle (mm)		750
Pente Moyenne (%)		1,26
Indice compacité/ Indice de forme		1,5
Longueur de rectangle équivalent (Km)		1,5
Largeur de rectangle équivalent (Km)		60
Pentes	Indice global de pente (courbe hypsométrie)	1,1
	Pente transversale (obtenue sur 6 profils)	5,83
	Indice global de pente corrigé	3
Longueur du réseau hydrographique (Km)		308,6
Densité de drainage (Dd)		0,438
Dénivelée spécifique (Ds) (m)		70,41
Typologie du bassin suivant la taille		Grand bassin versant
Typologie du réseau hydrographie		Dentritique
Typologie du relief		Relief modéré
Classe d'infiltrabilité		RI(P3)
Classe du bassin en fonction de la pente		R3

I.2 Analyses fréquentielles des pluies

Données disponibles :

- ❖ Série des pluies moyennes annuelles : 1989-2015 (27 valeurs retenues)

Sur cette série, on fera un ajustement par la loi de Gauss qui se justifie par le fait que le mode, la moyenne et la médiane sont proche, et également par la nature des données.

- ❖ Série des pluies maximales journalières : 1989-2015 (27 valeurs)

Ajustement par la loi de GUMBEL à cause de la nature extrême de la série.

Tableau 27: Pluies moyennes annuelles

Moyenne annuelle	748,53	Ecart type	112,8
Médiane	740,5	Maximum	980,3
Mode	744,31	Minimum	586,8

Période sèche			Durée de	Période humide		
Up	Fréquence	Pluie (mm)	Retour (ans)	Up	Fréquences	Pluie (mm)
-3,72	0,001	328,99	1000	3,09	0,999	1097,02
-3,09	0,002	400,04	500	2,88	0,998	1073,33
-2,88	0,005	423,73	200	2,58	0,995	1039,50
-2,88	0,008	423,73	125	2,41	0,992	1020,33
-2,33	0,01	485,76	100	2,33	0,99	1011,30
-2,05	0,02	517,33	50	2,05	0,98	979,73
-1,64	0,05	563,57	20	1,64	0,95	933,49
-1,28	0,1	604,17	10	1,28	0,9	892,89
-0,804	0,2	657,86	5	0,804	0,8	839,20
-0,67	0,25	672,97	4	0,67	0,75	824,09
0	0,5	748,53	2	0	0,5	748,53

Tableau 28: Pluie maximales journalière

Période sèche			Durée de	Période humide		
Up	Fréquence	Pluie (mm)	Retour (ans)	Up	Fréquences	Pluie (mm)
-1,93	0,001	26,84	1000	6,91	0,999	148,32
-1,83	0,002	28,29	500	6,21	0,998	138,79
-1,67	0,005	30,48	200	5,30	0,995	126,18
-1,57	0,008	31,76	125	4,82	0,992	119,70
-1,53	0,01	32,41	100	4,60	0,99	116,62
-1,36	0,02	34,65	50	3,90	0,98	107,02
-1,10	0,05	38,32	20	2,97	0,95	94,22
-0,83	0,1	41,93	10	2,25	0,9	84,32
-0,48	0,2	46,86	5	1,50	0,8	74,01

-0,33	0,25	48,91	4	1,25	0,75	70,52
0,37	0,5	58,43	2	0,37	0,5	58,43

I.3 Prédétermination de la crue du projet :

❖ Paramètres

Coefficient d'abattement (VUILLAUME) :

$$A = 1 - 0,001(9 \log_{10} T - 0,042 P_{an} + 152) \log_{10} S = 0,71$$

Pluie journalière décennale (atlas CIEH) : P_{j10} : 84,32 mm

Pluie journalière décennale abattue : $PM_{10} = A P_{10} = 61,00 \text{ mm}$

Coefficient de ruissellement décennal : $Kr = a/(S + b) + c$

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	Kri (%)	Kr10 (%)
Kr70	164	17	10,5	10,73	11,47
Kr100	250	20	12	12,35	

❖ Méthode ORSTOM révisée 1993

Tableau 29: Méthode ORSTOM

Paramètres	Formules	Valeurs
Temps de base : T_b (s)	$T_b = aS^{-0,36} + b$	166866,05
Temps de montée (s)	$T_m = T_b/3$	1067,44
Lame d'eau ruisselée décennale (mm)	$L_{r10} = PM_{10} * Kr_{10}$	6,85
Volume ruisselé décennal (m^3)	$V_{r10} = L_{r10} * S$	4820597,44
Débit moyen ruisselé décennal (m^3/s)	$Q_{mr10} = V_{r10}/T_{b10}$	28,89
Coefficient de pointe décennal (α_{10})		2,60
Débit de retour décennal (m^3/s)	$Q_{r10} = Q_{mr10} * \alpha_{10}$	75,11
Débit de crue décennal (m^3/s)	$Q_{10,TOM} = 1,03 * Q_{r10}$	80,00

❖ Méthode CIEH « où méthode statistique »

Méthode CIEH									
Equation	r	a	S	Ig	Pan	PM10	Kr10	Dd	Q 10
N°			(Exp)	(Exp)	(Exp)	(Exp)	(Exp)	(Exp)	(m3/s)
6	0,773	1,83	0,62	0,618				0,121	95,3219379
10	0,898	0,0833	0,696	0,953			1,038		98,6319171

12	0,892	0,095	0,643	0,406			1,038		80,3580573
42	0,869	0,0912	0,643	0,399			1,019		73,6599106

Le débit moyen calculé par la méthode est de $Q_{10\text{ CIEH}} = 87,00 \text{ m}^3/\text{s}$

I.4 Crue du projet :

$$Q_{100} = C * Q_{10} \quad \text{avec}$$

$$C = 1 + \frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} * \frac{(Tb/24)^{0.12}}{Kr_{10}} \quad \text{pour une sécurité maximale}$$

C = est un coefficient de sécurité représentant le risque accepté au dépassement de Q_{10} .

Le choix de ce paramètre important revient à l'ingénieur aménagiste et sera fait en fonction de la sécurité recherchée de l'ouvrage et de son coût.

Les indications suivantes sont à observer :

- C= 1,45 en acceptant un risque élevé ;
- C= 2 à 3 en prenant un risque faible.

La prise en compte du coefficient doit tenir compte de la durée de vie minimale de notre ouvrage étant fixée à 30 ans et les biens qui pourraient être endommagés en cas de rupture du barrage pouvant être considérables (village, vergers, valorisation...). Dans notre cas, une rupture éventuelle de l'ouvrage n'affectera pas les habitations ; cependant les vergers et les puits seront durement affectés.

De l'analyse de ces résultats et compte de la sécurité recherchée, l'application d'un coefficient moyen de $C=2,5$ sur le débit de projet nous paraît assez raisonnable. Cela aboutit à une crue de projet de

$$Q_{100} = 218 \text{ m}^3/\text{s}$$

I.5 Etude des apports

❖ La Méthode de COUTAGNE

$$D = P - \lambda P^2 \quad \text{avec } \lambda = 1 / (0,8 + 0,14T)$$

T= Température moyenne annuelle = $28,5^\circ\text{C}$

P= Pluviométrie moyenne annuelle = 0,75 m

D= déficit pluviométrique

On vérifie que $1 / (8\lambda) < P < 1 / (2\lambda)$

le coefficient d'écoulement est donné par $Ke = (P-D)/P$

AN : nous obtenons

$$D = 0,63 \text{ m}$$

$$K_e = 16,0\%$$

❖ La Méthode de TURC

$$D = P / (0,9 + P^2/L^2)^{1/2}$$

$$\text{avec } L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

AN : nous obtenons $D = 0,84 \text{ m}$ conduisant à une valeur négative. Cette méthode n'est donc pas applicable.

Nous adopterons donc un coefficient d'écoulement $K_e = 16,0\%$

La lame d'eau effectivement écoulée L_e est donnée par :

$$L_e = K_e * P$$

Le volume des apports est donné par :

$$V_{\text{apports}} = L_e * S$$

Nous obtenons :

$$K_e = 16,0\%$$

$$L_e = 0,12 \text{ m}$$

$$V_{\text{apports}} = 84,51 \text{ Millions de m}^3/\text{an}$$

❖ Vérification du remplissage en année quinquennale sèche et décennale sèche

$$V_{\text{apports}} = K_e * P_{\text{an}} * S_{\text{BV}}$$

En année quinquennale sèche

$$K_{e5} = 0,7 * K_{\text{em}} \text{ soit } K_{e5} = 0,67$$

$$V_{\text{apports}} = 3\,549\,420 \text{ m}^3$$

En année décennale sèche

$$K_{e10} = 0,5 * K_{\text{em}} \text{ soit } K_{e10} = 0,46$$

$$V_{\text{apports}} = 2\,429\,663 \text{ m}^3$$

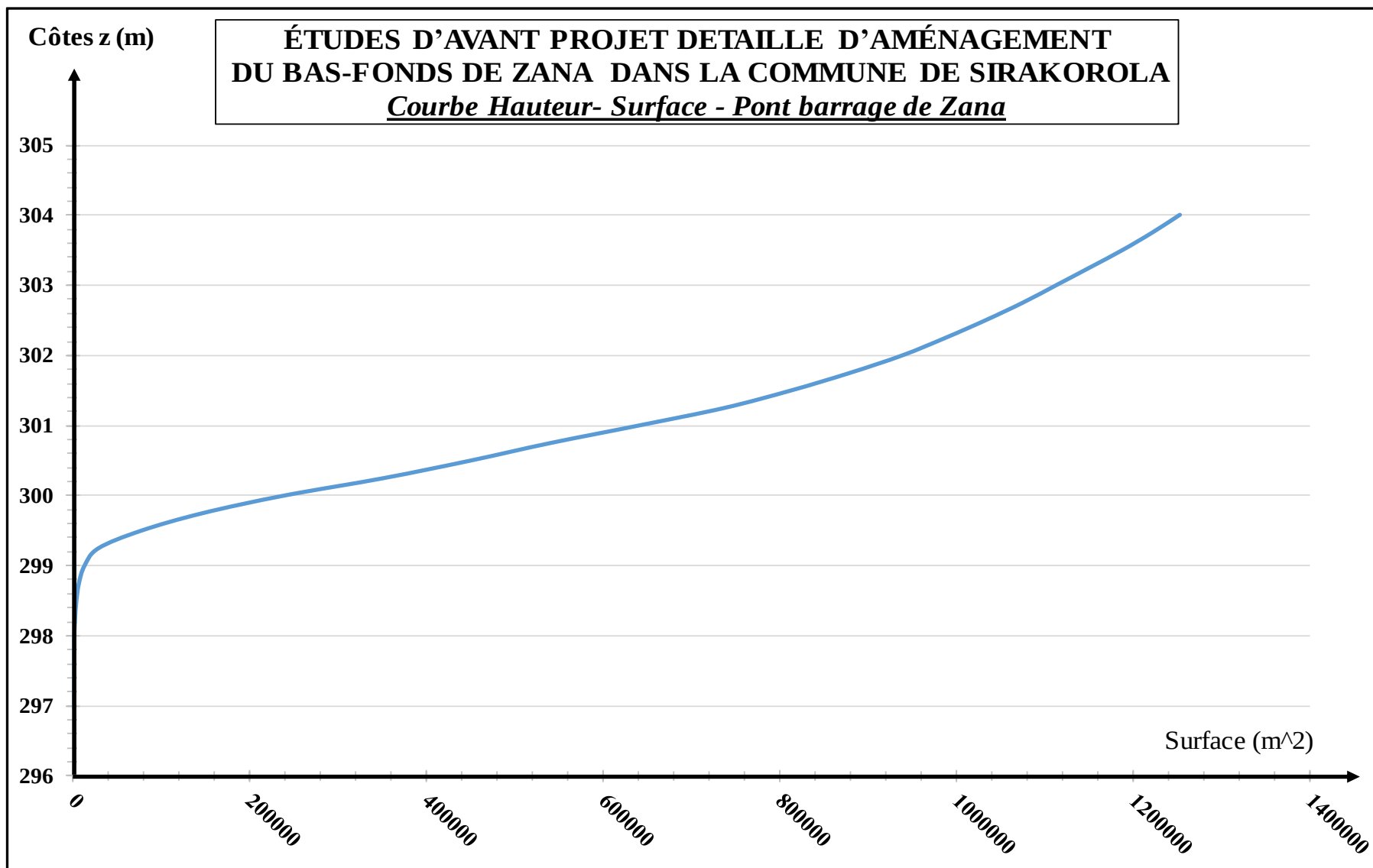
Annexe II. Etude de la retenue

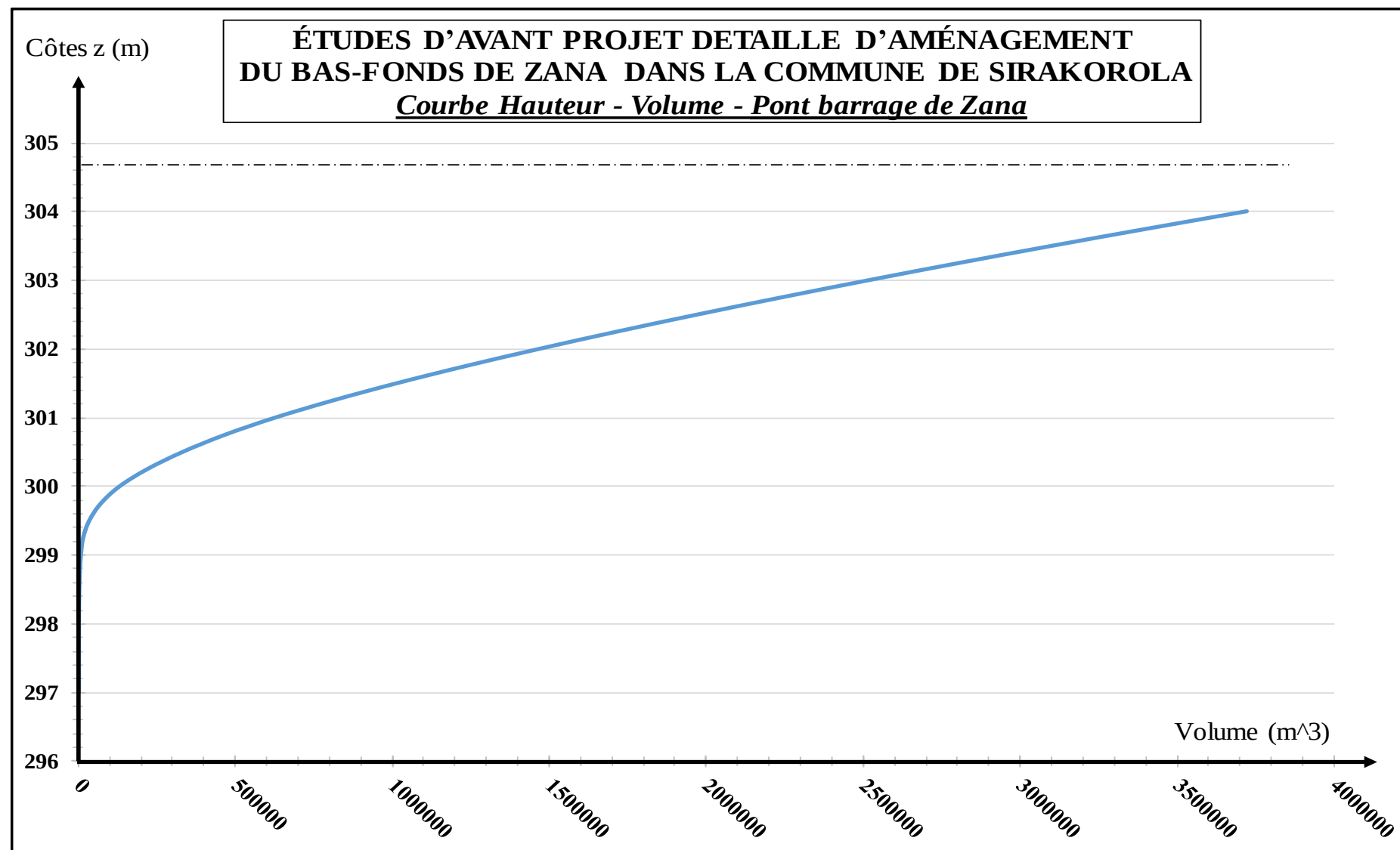
II.1 Courbe hauteur volume et hauteur surface

Tableau 30: Courbe hauteur volume et hauteur surface

Côtes (m)	h (m)	Surface partielle (m ²)	Surface Moyenne (m ²)	Volumes partiels (m ³)	Volume cumulé (m ³)
297	0	0	0	0	0
297,25	0,25	141,84	70,92	17,73	17,73
297,5	0,25	526,34	334,09	83,5225	101,2525
297,75	0,25	1099,58	812,96	203,24	304,4925
298	0,25	1906,61	1503,095	375,77375	680,26625
298,25	0,25	2990,73	2448,67	612,1675	1292,43375
298,5	0,25	4925,49	3958,11	989,5275	2281,96125
298,75	0,25	8700,17	6812,83	1703,2075	3985,16875
299	0,25	17595,09	13147,63	3286,9075	7272,07625
299,25	0,25	40158,14	28876,615	7219,15375	14491,23
299,5	0,25	114044,08	77101,11	19275,2775	33766,5075
299,75	0,25	179143,06	146593,57	36648,3925	70414,9
300	0,25	298140,17	238641,615	59660,4038	130075,3038
300,25	0,25	405476,50	351808,335	87952,0838	218027,3875
300,5	0,25	494608,947	450042,724	112510,681	330538,0684
300,75	0,25	586388,86	540498,904	135124,726	465662,7943
301	0,25	694855,76	640622,31	160155,578	625818,3718
301,25	0,25	779702,536	737279,148	184319,787	810138,1588
301,5	0,25	846403,8	813053,168	203263,292	1013401,451
301,75	0,25	912570,73	879487,265	219871,816	1233273,267
302	0,25	965103,84	938837,285	234709,321	1467982,588
302,25	0,25	1010184,89	987644,365	246911,091	1714893,68
302,5	0,25	1055583,89	1032884,39	258221,098	1973114,777
302,75	0,25	1094309,09	1074946,49	268736,623	2241851,4
303	0,25	1131524,48	1112916,79	278229,196	2520080,596
303,25	0,25	1169723,59	1150624,04	287656,009	2807736,605
303,5	0,25	1205797,96	1187760,78	296940,194	3104676,798
303,75	0,25	1237419,57	1221608,77	305402,191	3410078,99
304	0,25	1267352,92	1252386,25	313096,561	3723176

Volume Total	3 723 176 m³
--------------	--------------------------------





II.2 Estimation des besoins en eau et des pertes

Hypothèses de calcul

❖ Besoins agricoles :

Les cultures concernées sont :

- La riziculture pluviale
- Le maraîchage en saison sèche.

Les besoins spécifiques sont :

- Riz : 160m³/j/ha
- Maraîchage : 70m³/j/ha

Les besoins en eau pour la riziculture pluviale sont largement satisfaits avec les précipitations et ne participent pas à l'exploitation de la retenue.

❖ Besoins pastoraux :

Le Cheptel du village est estimé à 1 700 UBT. La consommation spécifique est de 40l/j/UBT.

La répartition saisonnière de cette consommation est la suivante :

- Octobre – Novembre : 50% de prélèvement au barrage,
- Décembre – Mai : 100% de prélèvement au barrage

❖ Pertes par infiltration :

Les pertes par infiltration dépendent de la nature du sol de la cuvette. L'infiltration d'une retenue est variable dans le temps. En effet l'infiltration dans une retenue diminue avec le temps avec l'apport et le colmatage des éléments fins. Les mesures faites sur les bassins versant en Afrique sub saharienne par l'ORSTOM donne des valeurs comprises entre 1 et 2 mm/j ; soit une moyenne mensuelle de :

Infiltration moyenne mensuelle : 4,6 mm

❖ Pertes par évaporation :

Elles sont évaluées par les estimations de BERNARD POUYOT de l'ORSTOM. Nous obtenons :

Date	15/09 – 15/10	15/10 – 15/11	15/11 – 15/12	15/12 – 15/01	15/01 – 15/02	15/02 – 15/03	15/03 – 15/04
Pertes par évaporation (mm/j)	4,46	5,00	5,38	5,60	6,00	7,00	8,00

❖ Dépôts solides

Formule de Collet

$E = 523 Q \cdot I$ Avec

- E : Volume d'envasement
- Q : débit moyen naturel (m³/s) = 84,51 millions de m³/an soit 10,9 m³/s.
- I : pente moyenne du cours d'eau = 1,26 ‰

Nous obtenons **E= 7 162 m³/an.**

Par comparaison au volume de la retenue, il faudra 42 ans pour que la retenue soit complètement envasée ; ce qui est envisageable avec la durée de vie de l'Ouvrage de 30 ans.

Temps d'envasement TE= **42 ans.**

Tableau 31: Récapitulatif des besoins et pertes

	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Maraîchage (m³/ha)	2 100	2 100	2 170	2 170	2 030	2 170	2 100	2 170
Besoin du Cheptel (m³)	1 054	1 020	2 108	2 108	1 904	2 108	2 040	2 108
Pertes (m)	0,2	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28

II.3 Courbe d'exploitation de la retenue :

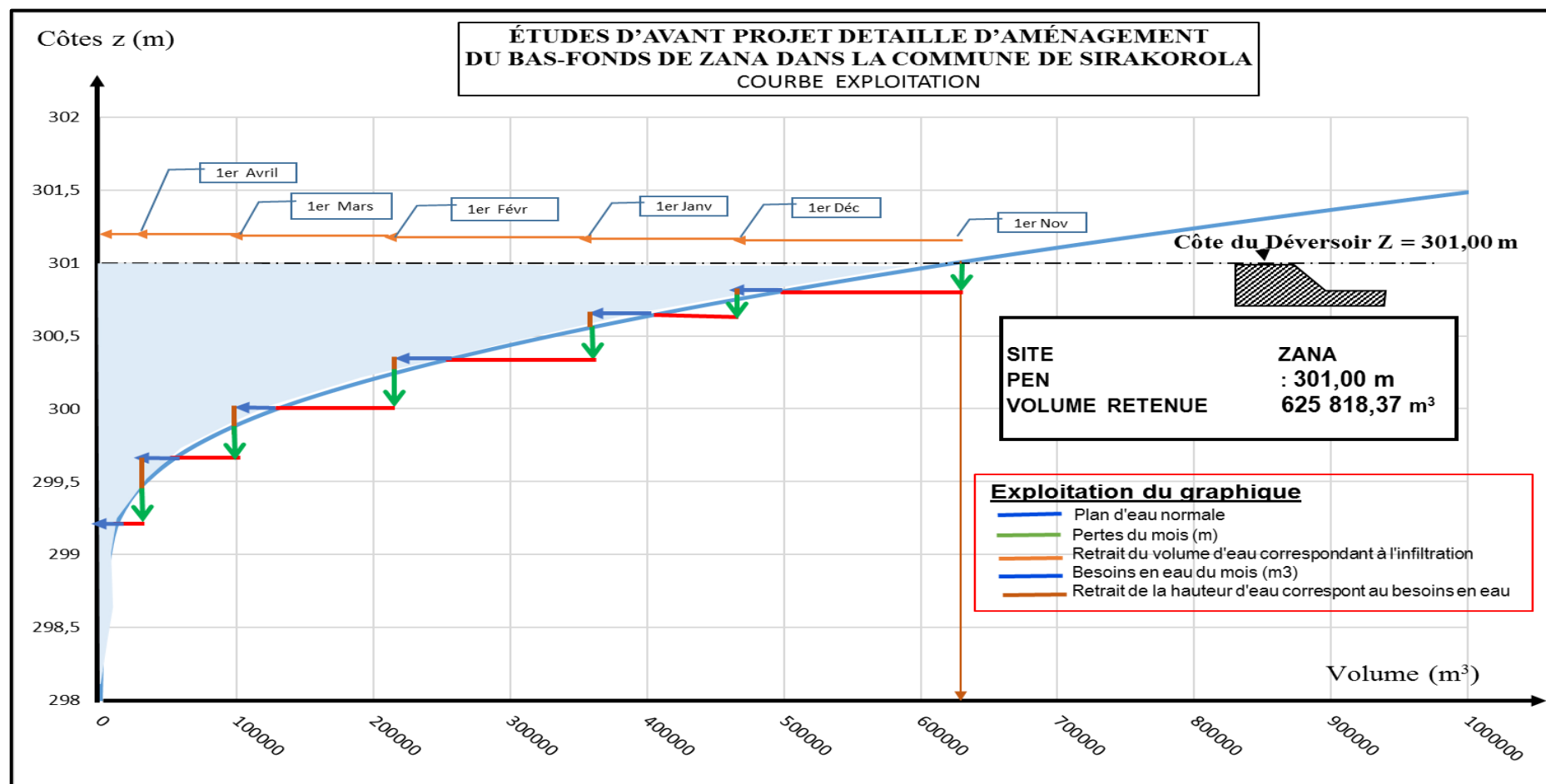


Figure 7: Courbe d'exploitation de la retenue de Zana

Annexe III. Etude de la digue et des ouvrages annexes

III.1 Evacuateur de crue :

❖ Laminage des crues :

Le problème de laminage peut être traduit par équation différentielle suivante

$$Q_c(t) - Q_e(z) dt = A(z)dz$$

Loi de débit $Q_{cmax} = m * L1 * \sqrt{2g} * h^{3/2}$ (seuil dénoyé)

$$L_{approx} = \frac{Q_{cmax}}{m * \sqrt{2g} * h^{3/2}}$$

L_{approx} = longueur du seuil déversant (m)

Q_{cmax} = débit de la crue du projet

m = coefficient du débit pris 0.425h (profil creuger)

g= accélération de la pesanteur 10 (m.s⁻¹)

h= lame au-dessus du seuil pris égal à 0.8 (m),

$$X_{01} = \frac{m^2 g * L1^2 Q_{cmax} * t_m^3}{s^3}$$

$$Q_{emax} = \beta_1 * Q_{cmax}$$

Tableau 32: Laminage des crues

L	X0	LOG10_X0	beta	Qemax	Lnew
198,173302	9,69259712	0,99	77%	167,86	153
152,593442	5,74674083	0,76	74%	161,32	147
146,648243	5,30766618	0,72	71%	154,78	141
140,703044	4,88603821	0,69	70%	152,6	139
138,721311	4,74937259	0,68	69%	150,42	137
136,739578	4,61464549	0,66	65%	141,7	129
128,812646	4,09512228	0,61	62%	135,16	123
122,867447	3,72583433	0,57	61%	132,98	121
120,885714	3,60661539	0,56	61%	131,89	120
119,894848	3,54773286	0,55	60%	131,781	120

❖ Revanche libre

$$h = \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\sqrt{f}$$

h = hauteur des vague en (m), 0,89 m

f = fetch en (km), 1,47 km

La revanche est donnée par formule :

$$R = \left(h + \frac{V_v^2}{2g} \right) * A$$

R = revanche en (m)

h = hauteur des vagues (m) , 0,89m

V = vitesse de propagation des vagues (m/s), 2,09 m/s

g = accélération de la pesanteur (m/s²), 10 (m/s²)

A = coefficient de sécurité pris égal à 0,75

R = 0,89 m, nous adopterons une revanche moyenne de 35 cm.

❖ Bassin de dissipation :

- Longueur du bassin de dissipation

Pris égal à la longueur du déversoir

L = 120,00 m

- Profondeur normale

Calcul par formule de débitance, on obtient $y_n = 1,70$ m

Y_n	S	P	RH	$D = k_s x S x RH^{(2/3)}$	$Q/I^{0,5}$	Ecart
1,6	195,84	125,77	1,557	5261,99	5628,74	366,74
1,65	202,08	125,95	1,605	5539,26		89,47
1,66	203,33	125,99	1,614	5595,40		33,33
1,7	204,07	126,01	1,620	5628,68		0,05

- Détermination des paramètres D, F et Y_2

La valeur de la pelle maximale du déversoir

$H_0 = 2$ m

La lame au-dessus du seuil déversante est $h = 0,7$ m

- Calcul de débit unitaire

$q = Q/L$

Q : débit de la crue de projet, 218,00 m³/s

L : longueur du déversoir, 120,00 m

$q = 1,82$ m³/s/ml

- Calcul de $h/H_0 = 0,4$ et $y_n/H_0 = 0,8$

Les conditions $0,05 \leq h/H_0 \leq 0,7$ et $0,1 \leq y_n/H_0 \leq 0,8$ étant respectées, on lit la valeur de l'enfoncement D du bassin en fonction de y_n/H_0 et h/H_0

On obtient : $D/H_0 = 0,3$ soit $D = 0,6$ m

On a $H = H_0 + D$ soit $H = 2,60$ m

- Calcul de la valeur de y_2 :

La vitesse unitaire	$V_0 = q/h$	= 2,60 m/s/ml
La hauteur de chute	$H_e = h + \frac{V_0^2}{2g}$	= 1,04 m
La hauteur totale	$Z = H + H_e$	= 3,64 m

La hauteur normale à l'entrée du bassin :

$$y_1 = q / [2g \times (Z - y_n)]^{1/2} \quad y_1 = 0,29 \text{ m}$$

La vitesse unitaire à l'entrée du bassin

$$V_1 = q / y_1 \text{ soit } V_1 = 6,23 \text{ m/s/ml}$$

Le nombre de FROUDE à l'entrée du bassin

$$Fr = V_1 / (g \times y_1)^{1/2} \text{ soit } Fr = 2,60 \text{ On a } Fr < 4,5 :$$

Donc il y'a présence du ressaut (bassin de type ressaut).

La profondeur de l'eau à la sortie du ressaut est :

$$y_2 = (y_1 / 2) \times [(1 + 8Fr^2)^{1/2} - 1] \text{ soit } y_2 = \mathbf{0,94 \text{ m}}$$

La vitesse à la sortie

$$V_2 = q / y_2 \text{ soit } V_2 = 1,94 \text{ m/s/ml}$$

Vérification pour que le ressaut ne quitte pas le bassin :

$$y_2 < y_n + D \text{ soit } y_n + D = 2,30 > 0,94 \text{ m, condition vérifiée}$$

- Choix du type de bassin de dissipation

$V_1 = 6,23 \text{ m/s} < 15 \text{ m/s}$ et Fr inférieur 4.5, donc il est recommandé d'utiliser un bassin USBR de type I.

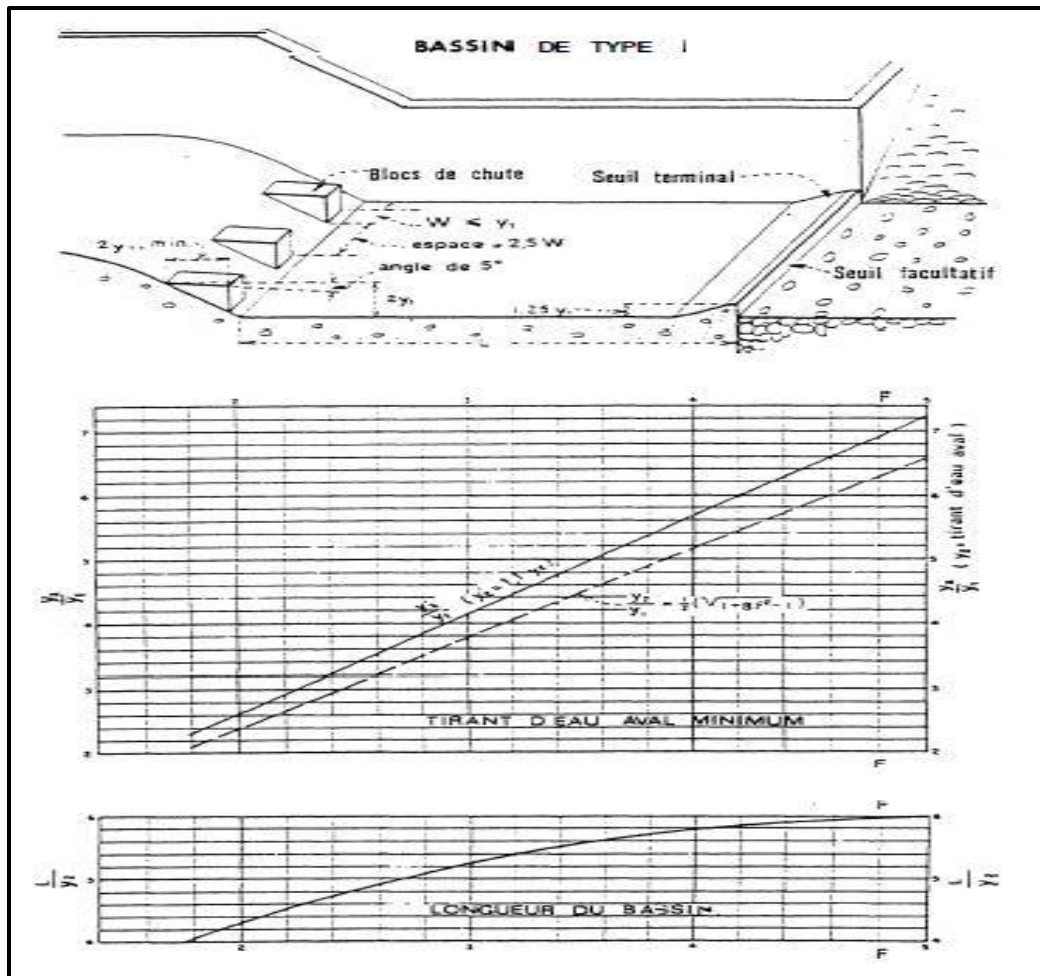


Figure 8: Bassin de type I

- Longueur du bassin(abaque)

Pour $Fr = 2,60$ $L/y_2 = 4,88$ d'où

$L = 4,6$ m on retient $L = 8$ m

- Blocs de chute

La hauteur : **$h_1 = y_1 = 0,30$ m**

La largeur à la base : **$b_1 = y_1 = 0,30$ m**

L'espacement : **$e_1 = y_1 = 0,30$ m,**

- Seuil terminal du bassin

Un abaque donne la hauteur du seuil par rapport au TN en fonction de Fr

Soit $h_4/y_1 = 1,2$ d'où $h_4 = 0,35$ m on adoptera **$h_4 = 0,30$ m**

L'épaisseur en crête : on adoptera **$e_4 = 0,30$ m**

Pente du talus aval : **$2h/1v$**

L'épaisseur à la base **$b_4 = 2.20$ m**

❖ Tranchée d'ancrage du déversoir

Application de la règle de LANE

$$P_{min} = \frac{CH - \sum L_h/3 - \sum L_v}{2}$$

P_{min} : Profondeur minimale de la tranchée d'ancrage du déversoir (m)

L_v : longueur verticale

L_h : longueur horizontale

H : la hauteur d'eau en amont du déversoir = 2,0 m

C : coefficient dépendant de la nature du sol de fondation. Les sondages géotechniques montrent l'existence d'un sol argileux A6 sur l'axe de l'ouvrage. C=3 (en rive droite)

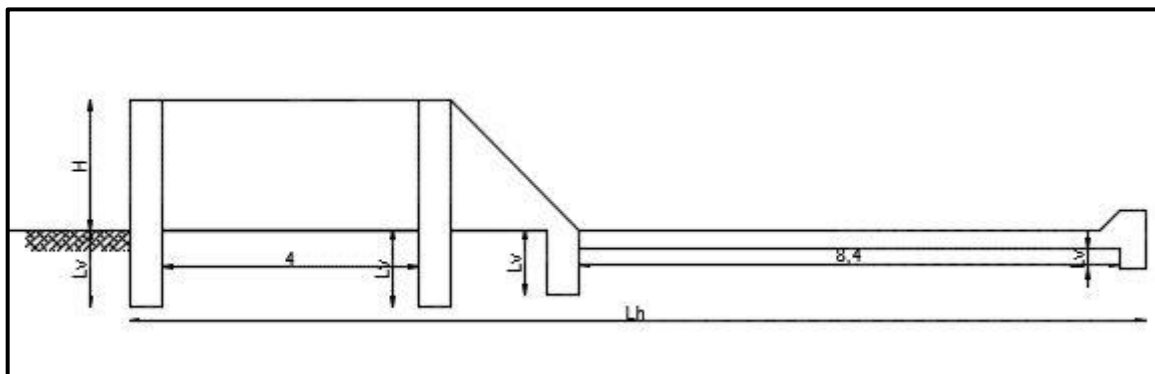


Figure 9: Détermination de la tranchée d'ancrage du déversoir

La valeur de l'ancrage minimum calculée est $P_{min} = 0,70$ m. Nous adoptons donc un ancrage maxi de $P_{max} = 1,20$ m à cause de la présence de dépôts sédimentaire sur une profondeur considérable.

❖ Etude de la stabilité du déversoir :

Désignations		Forces (KN/m)		Bras de levier	Moments [KN.m]	
		Verticale	Horizontale		Stabilisants [+]	Renversants [-]
Poids propre						
W1	$\gamma_{beton} * L * l$	384,000		2,500	960,000	
W2		48,000		-0,667	-32,000	
W3		20,880		1,000		20,880
Poussées externes						

Pe1	$\gamma_{eau} * \frac{1}{2} H^2$		22,400	1,600		35,840
Pe2			51,200	1,067		54,613
Pea			1,800	0,200	0,360	
Sous pressions						
Pi1	$\gamma_{eau} * H * B$	45,714		2,500		114,286
Pi2		12,000		1,000	12,000	
Pi3		47,143		3,333		157,143
Pi4		3,143		0,667	2,095	
Poussées des terres Amont						
PT	$\gamma_T * \frac{1}{2} h^2 * k_a$		2,400	0,400	0,960	
Total		344,880	74,200		943,415	382,762

❖ Stabilité au glissement

$$F_G = \frac{C*S + \sum(W - P_i) \tan \phi}{\sum(P)} \geq 1 \text{ Stabilité en tenant compte de la cohésion de la fondation}$$

F_G : coefficient de sécurité au glissement dans le cas où la cohésion est non nulle

$F_G = 3,01 > 1$ la stabilité au glissement est vérifiée

❖ Stabilité au renversement

La distance par rapport au point B $X = \frac{\sum Mr - Ms}{\sum Fv} \leftrightarrow X = 2,86 \text{ m}$

Le coefficient de renversement $F_R = \left| \frac{Ms}{Mr} \right| = 2,85$

Excentricité $e = \overline{OB} - X \rightarrow e = -1,64 \text{ m}$

❖ La règle du tiers centrale $-\frac{b}{6} < e < \frac{b}{6} = 1,17 \text{ m}$ Vérifier

La stabilité de l'ouvrage est assurée

III.2 Ouvrage de régulation ou de vidange (pertuis de vidange) :

Le calcul du débit d'évacuation du pertuis permet de déterminer le temps de vidange de la retenue en fonction du volume d'eau compris entre la hauteur H du plan d'eau maximale et la hauteur h désirée à évacuer.

Ceci permet de voir si le temps de vidange est compatible avec les techniques culturales et la durée de submersion supportable par la culture pratiquée.

Pour une vidange totale, il faudra vidanger la retenue de la cote 301,00 m à la cote 297,25 m (cote fond pertuis).

- ❖ Le Volume d'eau à évacuer est donné par :

$$V = S_1 \times \frac{H}{2,67} - S_2 \times \frac{h}{2,67} \text{ avec}$$

S1 et S2 : surface du plan d'eau aux côtes H et h

- ❖ Le débit moyen du pertuis est donné par :

$$Q = m \times L \times \sqrt{2g} \times \left(\frac{H-h}{2}\right)^{3/2} \text{ avec}$$

Q : débit du pertuis en m³/s

m : coefficient de débit du seuil déversant en batardeaux = 0,4

L : longueur du batardeau (m)

g : accélération de la pesanteur (m)

- ❖ Le temps de vidange est alors donné par :

$$T = \frac{V}{(Q \times 3600)} \quad (T \text{ en heures})$$

(Si aucun apport d'eau de ruissellement issu du bassin versant ne se produit)

Données :

S1 = 183 243,91 m²

S2 = 4 108,384 m² (jusqu'à la cote des pertuis)

H = 4,0 m

h = 1,0 m (pour une vidange jusqu'à la cote des pertuis)

L : longueur du batardeau : nous adopterons des batardeaux de 2,00 m de long présentant une meilleure résistance à la poussée de l'eau par rapport aux batardeaux plus longs.

III.3 Etude de la digue :

- ❖ Tranchée d'ancrage :

Le calcul de la tranchée se fait suivant la règle de LANE. Expression de la règle de LANE est la suivante :

$$P_{min} = \frac{CH - \sum L_h/3 - \sum L_v}{2}$$

P_{min} : Profondeur minimale de la tranchée d'ancrage du déversoir (m)

L_v : longueur verticale

L_h : longueur horizontale

H : la hauteur d'eau en amont du déversoir = 2,0 m

C : coefficient de LANE dépendant de la nature du sol de fondation. Les sondages géotechniques montrent l'existence d'un sol argileux A6 ou A4 de faible consistance sur l'axe de l'ouvrage. C=3 (en rive gauche et au milieu)

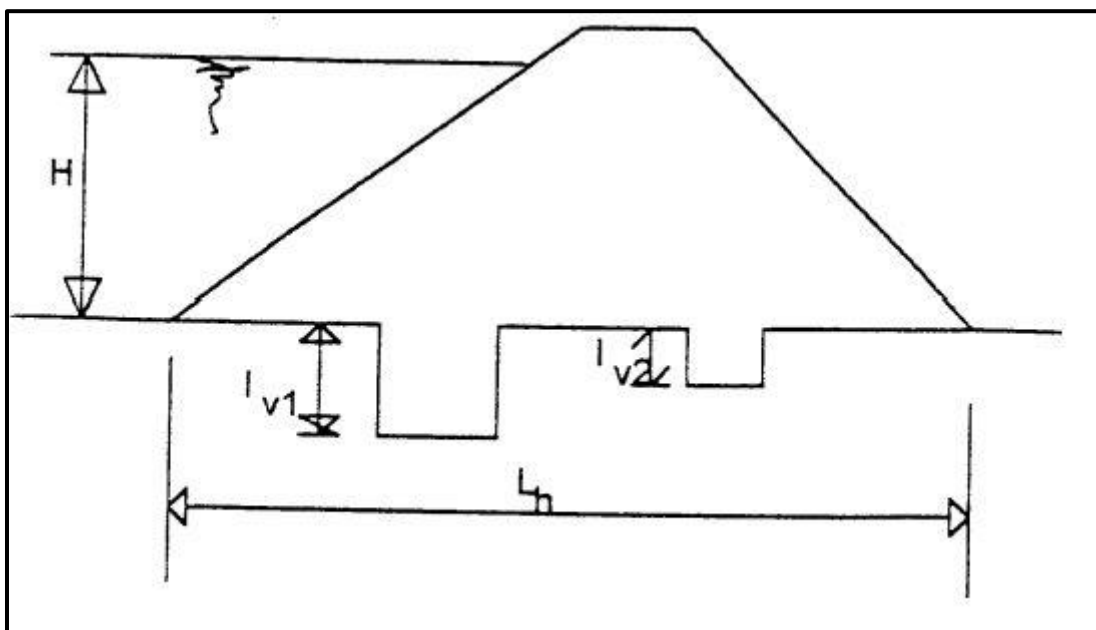


Figure 10: Application de la règle de LANE sur la Digue

La tranchée ancrage sera de forme trapézoïdale, avec comme pente de talus 1H/3V (ce qui facilitera la mise en œuvre par les engins de chantier). La profondeur obtenue est de 1,5 m, pour une largeur en gueule de 4,6 m au droit du lit mineur.

❖ Infiltration et hydraulique interne :

Infiltration et hydraulique interne

- ✓ Calcul de la ligne phréatique à travers le massif homogène avec drainé

Formule de Kozeny

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \text{ Avec } d = l_f - \frac{0.7 h}{\tan \alpha}$$

$$y_0 = 1,44 \text{ m}$$

- ✓ Le débit de fuite à travers l'ouvrage
En appliquant la loi de Darcy, le débit de fuite est évalué par :

Pour $\alpha = 63.43^\circ > 30^\circ$

$K_r = 10^{-7}$ m/s (Monrouré SAWADOGO, 2014).

$$q = k_r * \gamma_0 * \sin \alpha \text{ soit } q = 1.29 * 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s/ml}$$

Le débit total d'infiltration à travers la digue vaut $Q = 5,54 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

- ✓ L'épaisseur du drain

Après avoir déterminer le débit de fuite il est possible d'évaluer l'épaisseur du drain par la

formule suivante : $e = 2 \sqrt{\frac{q * l_d}{k_r}}$, soit $e = 65$ cm

Annexe IV. Métré et Devis

V.1 Métré des ouvrages

❖ Déversoir

Fouille pour écran étanche

N° de Profil	h (m)	p(m)	Surface Si (m2)	Surface moyenne (m2)	Longueur (m)	Volume (m3)
Largeur fouille		1,00				
25,1	0,80	1,20	1,20			
26	0,80	1,20	1,20	1,20	12,46	14,95
27	0,80	1,20	1,20	1,20	20,76	24,91
28	0,80	1,20	1,20	1,20	19,22	23,06
29	0,80	1,20	1,20	1,20	20,60	24,72
30	0,80	1,20	1,20	1,20	20,00	24,00
31	0,80	1,20	1,20	1,20	10,30	12,36
32	0,80	1,20	1,20	1,20	9,50	11,40
33	0,80	0,90	0,90	1,05	20,00	21,00
34	0,80	0,80	0,80	0,85	10,00	8,50
34,1	0,80	0,70	0,70	0,75	14,71	11,03
Volume Total					160,0	387,0691

Fouille pour enrage du contrefort					
N° de Profil	h (m)	Surface Si (m2)	Surface moyenne (m2)	Longueur (m)	Volume (m3)
25,1	0,00	0,00			
26	0,60	0,18	0,09	12,46	1,12
27	0,60	0,18	0,18	20,76	3,74
28	0,60	0,18	0,18	19,22	3,46
29	0,60	0,18	0,18	20,60	3,71
30	0,60	0,18	0,18	20,00	3,60
31	0,50	0,15	0,17	10,30	1,70
32	0,40	0,12	0,14	9,50	1,28
33	0,40	0,12	0,12	20,00	2,40
34	0,40	0,12	0,12	10,00	1,20
34,1	0,00	0,00	0,06	14,71	0,88
Volume Total					50,79

❖ Digue

Digues en terre					
N° de Profil	h (m)	Surface Si (m2)	Surface moyenne (m2)	Longueur (m)	Volume (m3)
4	0,00	0			
5	1,00	5	2,5	13,4	33,5
6	1,87	13,41725	9,208625	21,6	198,9063
7	2,90	28,275	20,846125	20	416,9225
7.1	2,87	27,76725	28,021125	18,34	513,907433
8	3,30	35,475	31,621125	19,91	629,576599
9	3,30	35,475	35,475	31,64	1122,429
10	3,35	36,43125	35,953125	21,03	756,094219
11	3,35	36,43125	36,43125	20	728,625
12	3,45	38,38125	37,40625	20	748,125
13	3,85	46,68125	42,53125	20	850,625
14	5,00	75	60,840625	20	1216,8125

15	3,50	39,375	57,1875	20	1143,75
16	2,89	28,10525	33,740125	20	674,8025
17	2,80	26,6	27,352625	20	547,0525
18	1,30	7,475	17,0375	20	340,75
19	1,34	7,839	7,657	20	153,14
20	2,27	18,55725	13,198125	20	263,9625
21	2,90	28,275	23,416125	20	468,3225
22	2,49	21,72525	25,000125	20	500,0025
23	2,49	21,72525	21,72525	20	434,505
24	2,55	22,63125	22,17825	20	443,565
25	3,00	30	26,315625	20	526,3125
25.1	3,15	32,68125	31,340625	7,75	242,889844
Volume Total				453,67	12954,5784

V.2 Devis quantitatif et estimatif

DEVIS QUANTITATIF et ESTIMATIF

N°	Désignation des travaux	Unités	Qté	P. Unit	Montant FCFA
I	Série I - TRAVAUX PRELIMINAIRES				
1.1	Installation et replis du chantier	ff	1,00	2 500 000	2 500 000
1.2	Préparation du terrain et implantation des ouvrages y compris débroussaillage des emprises	ff	1,00	1 500 000	1 500 000
1.3	Décapage de la terre végétale sur l'emprise des ouvrage (20cm)	m²	21 400,00	100	2 140 000
	Total Série I				6 140 000
	Série II - DEVERSOIR				
2.1	Déblai en terrain ordinaire pour tranchée d'ancrage du mur d'étanchéité y compris fouilles éventuelles sous eau et blindage des parois	m³	387,06	3 500	1 354 710
2.2	Déblai en terrain ordinaire pour fondation du contrefort dans les dimensions du plan	m³	44,53	2 500	111 325
2.3	Béton de propreté dosé à 150kg/m³ e=10cm sous	m³	67,10	60 000	4 026 000

	mur étanche et contrefort				
2.4	Blocage de la fouille en béton cyclopéen dosé à 350 kg/m ³ sur le long du mur étanche avec ajout du sikhallite	m ³	355,06	70 000	24 854 200
2.5	Béton cyclopéen en élévation dosé à 350kg/m ³ pour mur étanche avec ajout du sikhallite	m ³	255,20	70 000	17 864 000
2.6	Béton cyclopéen pour contrefort dosé 350 kg/m ³	m ³	93,87	55 000	5 162 850
2.7	Enduit dosé à 400kg/m ³ pour mur étanche et contrefort avec ajout du sikhallite y compris joint polystyrène à tous les 10m	m ²	1 200,00	4 000	4 800 000
2.8	Fourniture de joint water stop à sceller dans un élément de béton à tous les 10 mètres y compris toutes sujétions	ml	48,00	14 500	696 000
2.9	Béton armé dosé à 350kg/m ³ avec ajout du sikhallite dans la masse pour scellement des joints waters stop y compris pose de joint et polystyrène	m ³	26,40	170 000	4 488 000
2.10	Béton armée dosé à 350kg/m ³ pour dalle de circulation y compris béton de finition et traitement des joints sec de dilatation	m ³	200,16	185 000	37 029 600
2.11	Béton armé dosé à 350kg/m ³ pour balises diam 25 cm, h=80 cm y compris peinture	m ³	21,12	170 000	3 590 400
	Total Série 2				103 977 085
	Série III- OUVRAGE DE REGULATION ET DE VIDANGE				
3.1	Fouille en pleine masse pour ouvrage et butée	m ³	53,38	4 000	213 520
3.2	Remblais d'ouvrage en argile compactée aux engins lourds	m ³	21,12	7 000	147 840
3.2	Béton de propreté dosé à 150kg/m ³ ep =10 cm pour ouvrage et butée	m ³	29,34	50 000	1 467 000
3.2	Béton armé pour radier dosé à 350kg/m ³ avec ajout du sikhallite ep =25	m ³	44,46	185 000	8 225 100

3.3	Béton cyclopéen en élévation dosé à 300kg/m ³ pour butées y compris enduits	m ³	10,79	55 000	593 450
3.4	Béton armé dosé à 350kg/m ³ avec ajout du sikkhalite dans la masse pour le corps de l'ouvrage	m ³	119,64	185 000	22 133 400
3.5	Béton armé dosé à 350kg/m ³ pour balises diam 25 cm, h=80 cm y compris peinture	m ³	1,16	185 000	214 045
3.6	Enduit gras dosé à 400 kg/m ³ pour le corps de l'ouvrage	m ²	156,82	6 000	940 920
3.7	Fourniture et pose de profilé UPN100 pour rainure des batardeaux façonné en cadre U (2,00 m x 4,75m)	U	4,00	110 000	440 000
3.8	F/P Batardeaux 200 x25 y compris tige de démontage et protection anti-rouille	U	32,00	90 000	2 880 000
3.9	Fourniture et pose d'échelle d'accès aux batardeaux en tube rond ϕ 30mm- h= 5,00m	U	4,00	180 000	720 000
3.10	Echelle limnimétrie à sceller dans un ouvrage en béton y compris et toutes sujétions comprises	U	3,00	100 000	300 000
3.11	F/P de gabion de protection aval y compris toutes sujétions	m ³	58,67	40 000	2 346 800
3.12	Empierrement libre pour la protection aval	m ³	112,50	6 000	675 000
	Total Série 3				41 297 075
	Série IV - BASSIN DE DISSIPATION ET PROTECTION AVAL DU DEVERSOIR				
4.1	Fouille pour bassin, murs de séparation et butées	m ³	1 013,31	6 000	6 079 860
4.2	Béton de propreté dosé à 150kg/m ³ pour butées	m ³	26,33	52 500	1 382 325
4.3	Béton cyclopéen en fondation dosé à 300kg/m ³ pour butées	m ³	71,83	70 000	5 028 100
4.4	Béton cyclopéen en élévation dosé à 300kg/m ³ pour butées y compris enduits	m ³	46,08	75 000	3 456 000
4.5	Béton cyclopéen dosé à 350kg/m ³ pour bassin et murs de séparation y compris enduit gras sur les murs	m ³	568,12	85 000	48 290 200

4.6	Béton cyclopéen dosé à 350 kg/m ³ pour blocs de chute y compris enduits	m ³	14,40	55 000	792 000
4.7	Lit de sable ep = 0,05 m	m ³	84,44	12 500	1 055 500
4.8	Lit de gravier ep = 0,05 m	m ³	84,44	30 000	2 533 200
4.9	Barbacane en PVC40mm	ml	12,50	12 500	156 250
4.10	F/P de gabion de protection aval et pour chenal en gradins y compris fouilles complémentaires	m ³	174,18	40 000	6 967 200
4.11	Empierrement libre pour la protection aval	m ²	537,25	5 000	2 686 250
	Total Série 4				78 426 885
	Série V -DIGUE EN TERRE				
5.1	Déblai aux engins pour tranchée d'ancrage, butée de pied amont et fossé de pied aval	m ³	748,50	2 500	1 871 250
5.2	Déblais manuels à travers le remblai pour mur en crête	m ³	181,46	2 000	362 920
5.3	Maçonnerie de moellons pour mur en crête	m ³	113,42	40 000	4 536 800
5.4	Remblai argileux compacté aux engins pour corps de digue	m ³	13366,96	5 000	66 834 800
5.5	Couche de roulement en graveleux latéritique compacte aux engins lourds - e = 20 cm	m ³	499,04	6 000	2 994 222
5.6	Gravier touvenant pour filtre horizontal	m ³	1 474,43	9 000	13 269 870
5.7	Matériaux graveleux latéritique pour protection du talus aval	m ³	406,63	6 000	2 439 780
5.8	Perré sec sur talus amont (ép 30 cm)	m ³	609,94	3 500	2 134 790
5.9	Enrochements rangés à la main pour butée de pied amont et fossé de pied aval	m ³	149,71	3 500	523 985
5.10	F/P de panneau indication de l'ouvrage	u	3,00	150 000	450 000
	Total Série 5				95 418 417
	Total Général (1+2+3+4+5)				325 259 462

Annexe V. Etude de rentabilité économique et financière :

V.1 Comptes d'exploitation des différentes spéculations

❖ Compte d'exploitation d'un hectare de riz de bas fond

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
I- PRODUITS				
Vente de riz paddy	Kg	2750	150	412 500
Total produits				412 500
II- CHARGES				
Intrants agricoles				
Semences	Kg	50	400	25 000
Complexe NPK	Kg	100	400	40 000
Urée	Kg	50	400	20 000
Herbicide	ha	1	7 500	7 500
Sous Total intrants				92 500
22. Main d'œuvre				
Labours	ha	1	30 000	30 000
Hersage	h/j	5	1 000	5 000
Semis direct	h/j	5	1 000	5 000
Désherbage	h/j	5	1 000	5 000
Moisson	h/j	5	1 000	5 000
Battage	sacs	27,5	200	5 500
Sous Total main d'œuvre		43		55 500
23. Autres charges				
Amortissement petits matériels	lot	1	5 000	5 000
Emballage	sacs	27,5	200	5 500
Transport	sacs	27,5	100	2 750
Sous total autres charges				13 250
Total charges				161 250
Bénéfice d'exploitation				251 250
Charge moyenne/ha				161 250
Rendement moyen (Kg/ha)				2 750
Prix de revient du Kg				59

❖ Compte d'exploitation d'un hectare de maïs

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
I- PRODUITS				
Vente de maïs	tonne	3000	125	375 000
Total produits				375 000
II- CHARGES				
21. Intrants agricoles				
Semences	Kg	25	250	6 250
Fumures organique	tonne			-
Complexe NPK	Kg	150	400	60 000
Urée	Kg	50	400	20 000
Herbicide	Kg	1	7500	7 500
Petits outillages	lot	1	5 000	5 000
Sous Total Intrants agricoles				98 750
22. Main d'oeuvre				
Labours	ha	1	30 000	30 000
Semis	ha	5	1 000	5 000
Désherbage	l	10	3 000	30 000
Récolte	h/j	10	1 000	10 000
Battage	Kg	20	500	10 000
Sous Total main d'œuvre				85 000
23. Autre charges				
Amortissement petits matériels	lot	1	12 500	12 500
Transport	Kg	3 000	10	30 000
Sac emballage	Sac de 50 kg	30	200	6 000
Sous Total autres charges				48 500
Total charges				232 250
Bénéfice d'exploitation				142 750
Charge moyenne/ha				232 250

Rendement moyen (Kg/ha)				3 000
Prix de revient du Kg				77,4

Compte d'exploitation d'un hectare de tomate

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
I- PRODUITS				
Vente de tomate	Kg	20 000	120	2 400 000
Total produits				2 400 000
II- CHARGES				
21. Intrants agricoles				
Semences	Kg	3	8 000	24 000
Complexe NPK	Kg	200	500	100 000
Urée	Kg	150	500	75 000
Fumure organique	Kg	20 000	5	100 000
Produits phytosanitaires	Flacon 250ml	12	3 000	36 000
Sous total intrants				335 000
22. Main d'œuvre				-
Labours	ha	1	30 000	30 000
Confection de planches	h/j	50	1 000	50 000
Entretien des ouvrages	h/j	20	1 000	20 000
Pépinière	h/j	40	1 000	40 000
Repiquage	h/j	50	1 000	50 000
Entretien, désherbage, épandage engrais	h/j	75	1 000	75 000
Arrosage	h/j	450	1 000	450 000
Récolte et conditionnement	h/j	100	1 000	100 000
Sous total main d'œuvre				735 000
23. Autres charges				
Amortissement petits matériels	lot	1	12 500	12 500
Transport	Kg	20 000	10	200 000

Sac emballage	Sac de 50 kg	400	200	80 000
Sous total autres charges				292 500
Total charges				1 362 500
Bénéfice d'exploitation				1 037 500
Charge moyenne/ha				735 000
Rendement moyen (Kg/ha)				20 000
Cout de production du Kg				68

❖ Compte d'exploitation d'un hectare d'oignon

Désignations	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
I- PRODUITS				
Production	Kg	25 000	150	3 750 000
Total produits d'exploitation				3 750 000
II- CHARGES				
21. Intrants agricoles				
Semences	Kg	5	50 000	250 000
Engrais NPK	Kg	250	400	100 000
Urée	Kg	0	400	-
Fumure organique	Kg	20000	10	200 000
Produits phytosanitaires	l	25	1 500	37 500
Sous Total intrants				587 500
22. Main d'œuvre				
Labour mécanique	ha	1	30000	30 000
Nettoyage	Hj	15	1000	15 000
Confection des planches	Hj	50	1000	50 000
Arrosage	Hj	650	1000	650 000
Récolte et conditionnement	Hj	150	1000	150 000
Entretien de puits	Hj	20	1000	20 000
Sous total main d'œuvre				885 000
23. Autres charges				
Amortissement petits matériels	lot	1	12 500	12 500

Sac de conditionnement	u	500	200	100 000
Transport	Kg	25000	10	250 000
Sous total autres charges				362 500
Total charges d'exploitation				1 835 000
Bénéfice d'exploitation				1 915 000
Charge moyenne/ha				1 835 000
Rendement moyen (Kg/ha)				25 000
Cout de production du Kg				73

❖ **Compte d'exploitation d'un hectare de concombre**

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
I- PRODUITS				
Vente de concombre	Kg	20 000	120	2 400 000
Total produit d'exploitation				2 400 000
II- CHARGES				
21. Intrants agricoles				
Semences	Bte 100g	15	4 000	60 000
Engrais complexe NPK	Kg	270	400	108 000
Engrais Urée	Kg	50	400	20 000
Fumure organique	Kg	20 000	10	200 000
Produits phyto	l	25	1 500	37 500
Sous Total intrants				425 500
22. Main d'œuvre				
Labours mécanique	ha	1	30 000	30 000
Confection de planches	h/j	50	1 000	50 000
Pépinière	h/j	56	1 000	55 556
Labours mécanique	ha	1	30 000	30 000
Confection de planches	h/j	50	1 000	50 000
Arrosage	h/j	450	1 000	450 000
Récolte	h/j	75	1 000	75 000
Sous Total main d'œuvre				665 556

23. Autres charges				
Amortissement petits matériels	lot	1	12 500	12 500
Transport	Kg	20 000	10	200 000
Sac emballage	Sac de 50 kg	400	200	80 000
Sous Total autres charges				292 500
Total charges				1 383 556
Bénéfice d'exploitation				1 016 444
Charge moyenne/ha				1 383 556
Rendement moyen (Kg/ha)				20 000
Prix de revient du Kg				69

❖ Compte d'exploitation d'un hectare de gombo

Désignations	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
I- PRODUITS				
Produit d'exploitation	Kg	10 000	120	1 200 000
Total produits d'exploitation				1 200 000
II- CHARGES				
21. Intrants agricoles				
Semences	Kg	5	6000	30 000
Engrais Complexe NPK	Kg	100	400	40 000
Urée + Sulfate de potasse	Kg	200	400	80 000
Fumure organique	Kg	0	10	-
Produits phytosanitaires	l	25	1 500	37 500
Sous Total intrants				187 500
22. Main d'œuvre				
Labour mécanique	ha	1	30000	30 000
Confection des planches	Hj	50	1000	50 000
Semis	Hj	5	1000	5 000
Arrosage/entretien	Hj	100	1000	100 000

Récolte	Hj	30	1000	30 000
Sous total main d'œuvre				215 000
23. Autres charges				
Amortissement petits matériels	lot	1	12 500	12 500
Sac de conditionnement	Sac	200	200	40 000
Transport	Kg	10 000	10	100 000
Sous total autres charges				152 500
Total charges d'exploitation				555 000
Bénéfice d'exploitation				645 000
Charge moyenne/ha				555 000
Rendement moyen (Kg/ha)				10 000
Cout de production du Kg				56

❖ Compte d'exploitation d'un hectare d'aubergine africaine

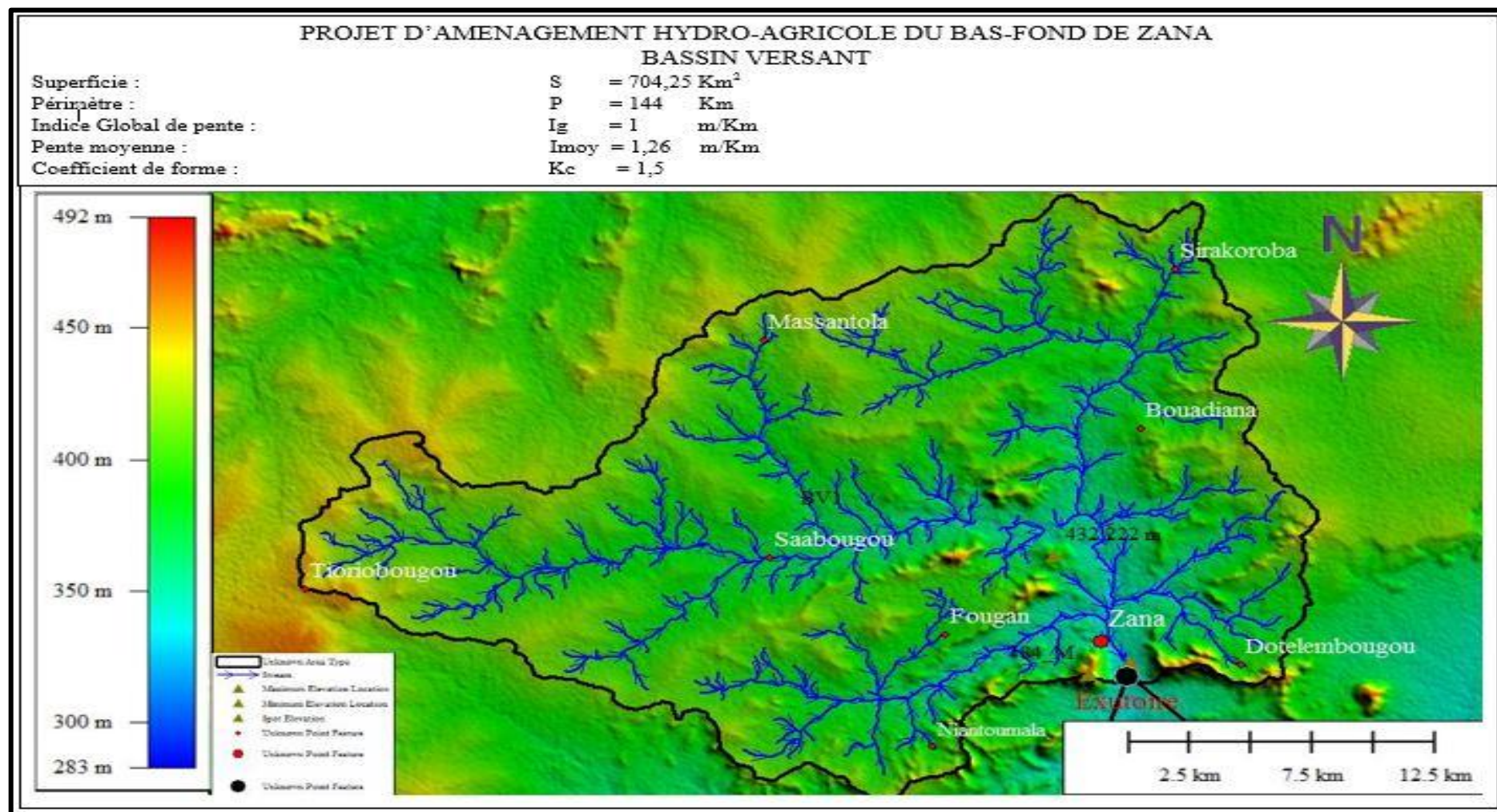
Désignations	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
I- PRODUITS				
Production	Kg	17 500	90	1 575 000
Total produits d'exploitation				1 575 000
II- CHARGES				
21. Intrants agricoles				
Semences	Sachet 50g	6	7500	45 000
Engrais	Kg	450	400	180 000
Urée	Kg	0	400	-
Fumier	Charrette	10	1000	10 000
Produits phytosanitaires	l	25	1 500	37 500
Sous Total intrants				235 000
22. Main d'œuvre				
Labours	ha	1	30000	30 000
Confection de planches	h/j	50	1 000	50 000
Repiquage	h/j	50	1000	50 000
Arrosage	h/j	400	1000	400 000

Récolte	h/j	50	1000	50 000
Entretien de puits	h/j	10	1000	10 000
Sous total main d'œuvre				510 000
23. Autres charges				
Amortissement petits matériels	lot	1	12 500	12 500
Sac de conditionnement	Sac	350	200	70 000
Transport	Kg	17500	10	175 000
Sous total autres charges				257 500
Total charges d'exploitation				1 002 500
Bénéfice d'exploitation				572 500
Charge moyenne/ha				1 002 500
Rendement moyen (Kg/ha)				17 500
Cout de production du Kg				57

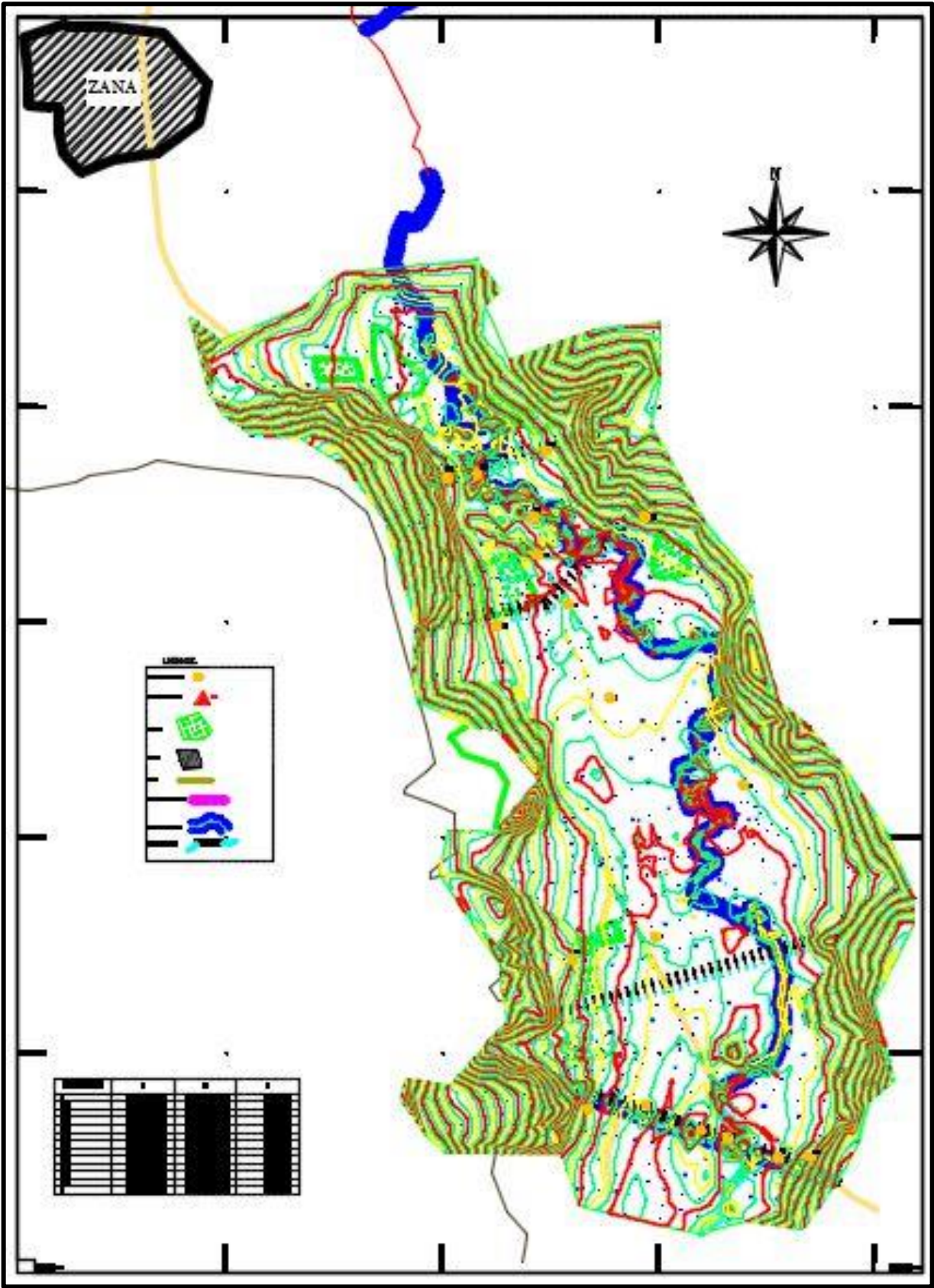
V.2 Calcul du Taux de Rentabilité Interne (TRI)

Années	Valeurs production	Coûts de production	Coût des travaux	Entretien	Somme des de flux financiers (+)	Somme des flux financiers (-)	Bilan des flux financiers
0	0		-325 259 454			-325 259 454	-325 259 454
1	114 450 000	55 626 250			114 450 000	55 626 250	58 823 750
2	114 450 000	55 626 250		325 259	114 450 000	55 951 509	58 498 491
3	114 450 000	55 626 250		325 259	114 450 000	55 951 509	58 498 491
4	114 450 000	55 626 250		325 259	114 450 000	55 951 509	58 498 491
5	114 450 000	55 626 250		325 259	114 450 000	55 951 509	58 498 491
6	114 450 000	55 626 250		650 519	114 450 000	56 276 769	58 173 231
7	114 450 000	55 626 250		650 519	114 450 000	56 276 769	58 173 231
8	114 450 000	55 626 250		650 519	114 450 000	56 276 769	58 173 231
9	114 450 000	55 626 250		650 519	114 450 000	56 276 769	58 173 231
10	114 450 000	55 626 250		650 519	114 450 000	56 276 769	58 173 231
11	114 450 000	55 626 250		975 778	114 450 000	56 602 028	57 847 972
12	114 450 000	55 626 250		975 778	114 450 000	56 602 028	57 847 972
13	114 450 000	55 626 250		975 778	114 450 000	56 602 028	57 847 972
14	114 450 000	55 626 250		975 778	114 450 000	56 602 028	57 847 972
15	114 450 000	55 626 250		975 778	114 450 000	56 602 028	57 847 972
16	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
17	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
18	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
19	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155

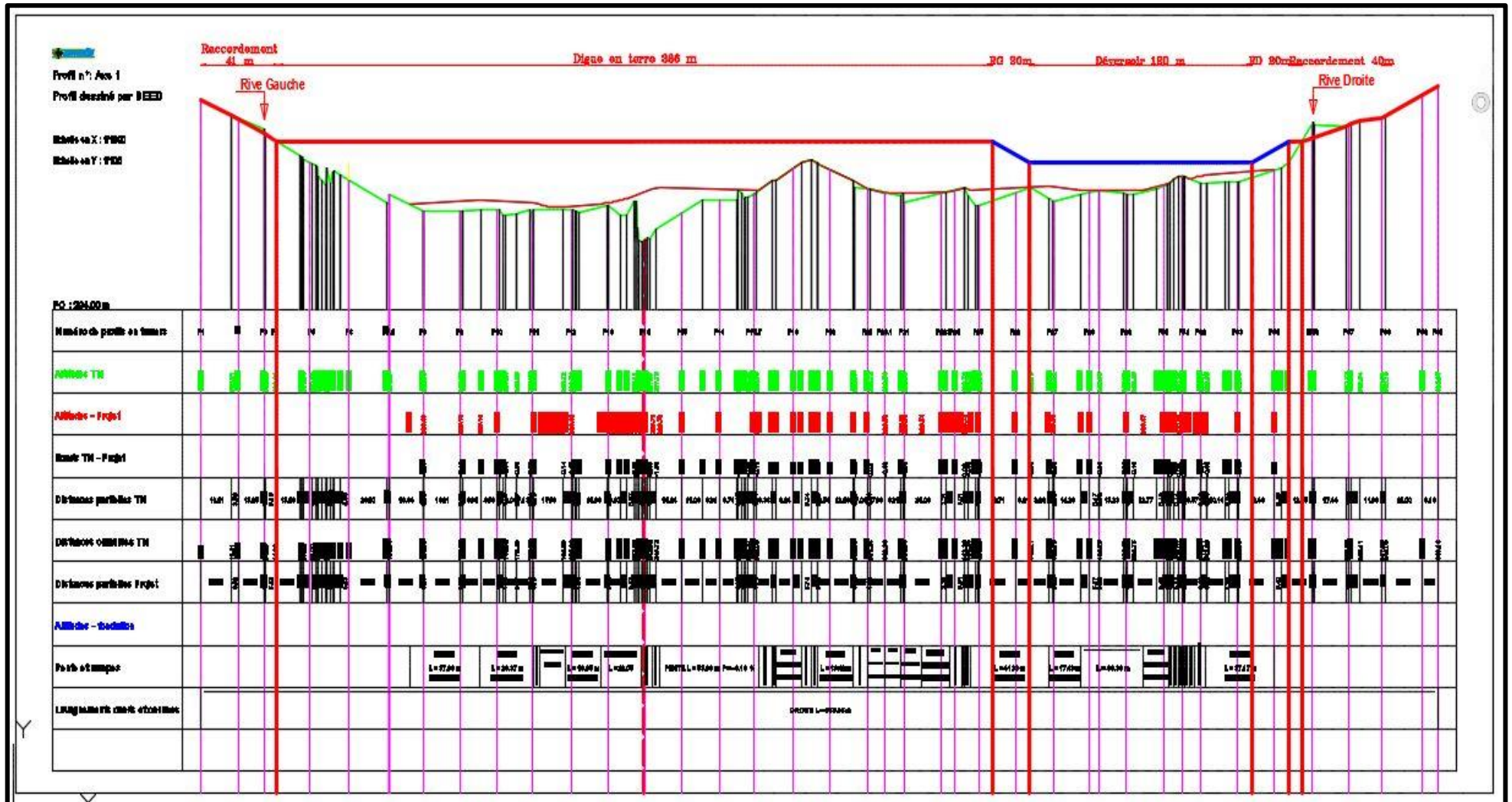
20	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
21	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
22	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
23	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
24	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
25	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
26	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
27	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
28	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
29	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
30	114 450 000	55 626 250		3 252 595	114 450 000	58 878 845	55 571 155
TOTAL	3 433 500 000	1 668 787 500		58 221 442	3 433 500 000	1 727 008 942	1 706 491 058
1 940 715						TRI	17,75%
						VAN	735 987 997
						DRI	4,8



VI.2 Plan topographique du bas fond

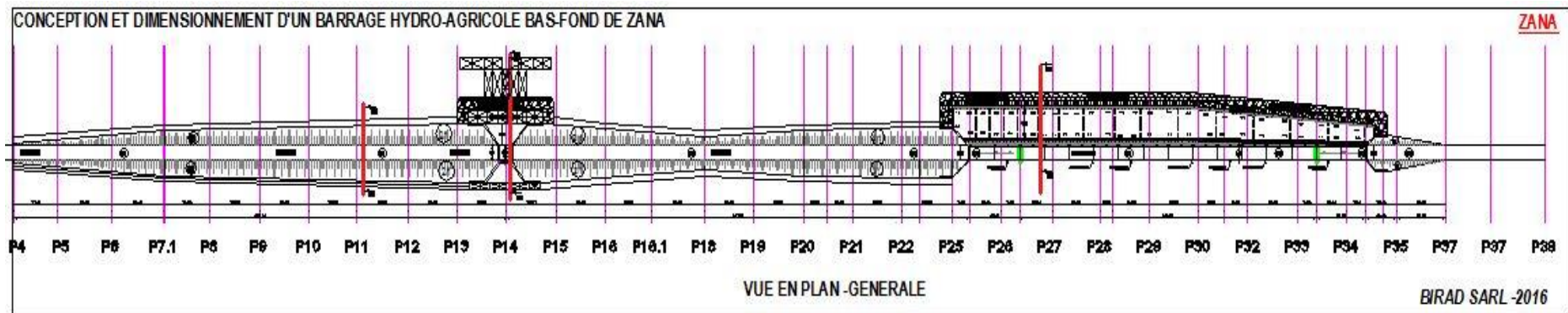


VI.3

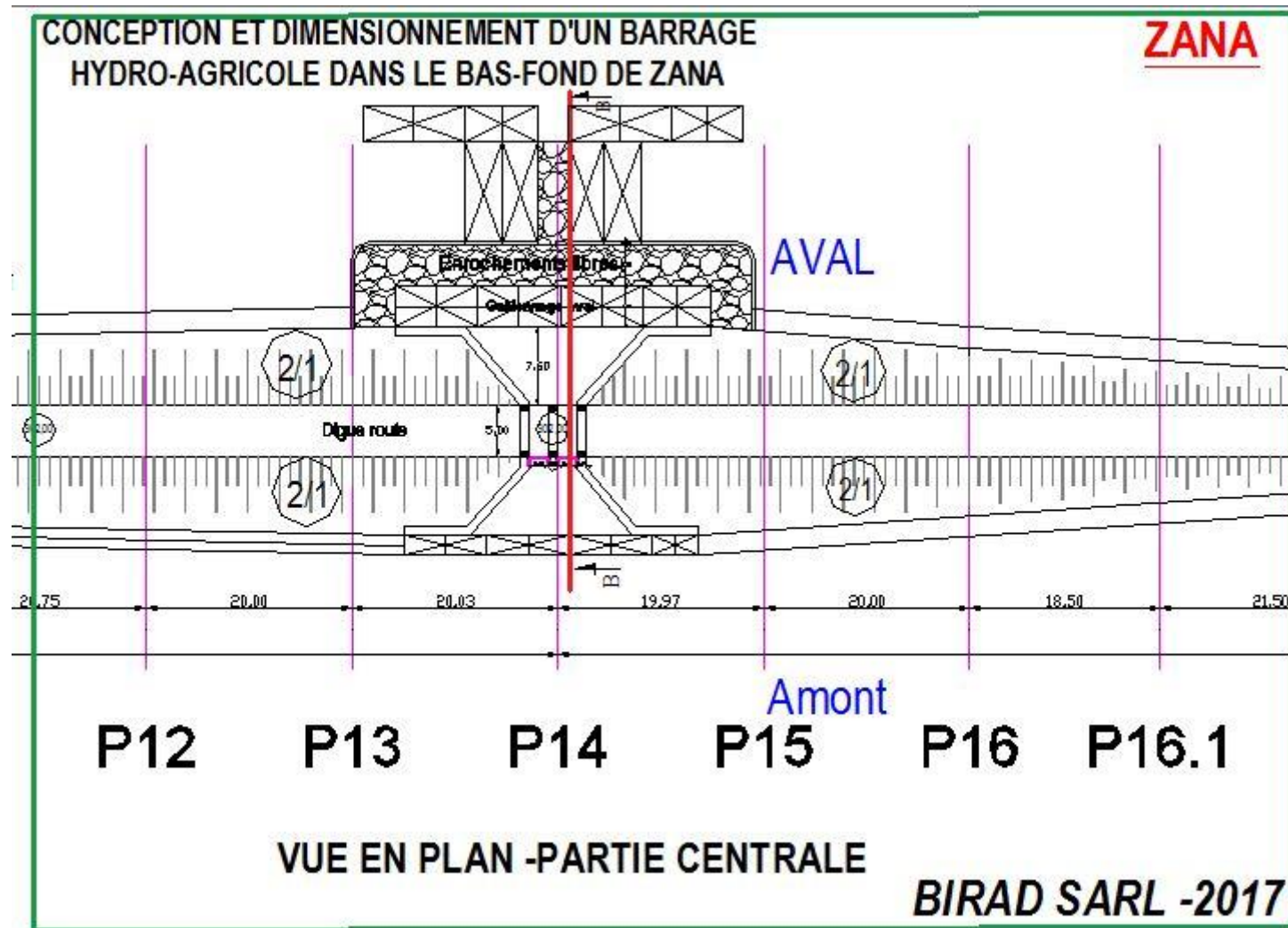


VI.4 Vue en plan

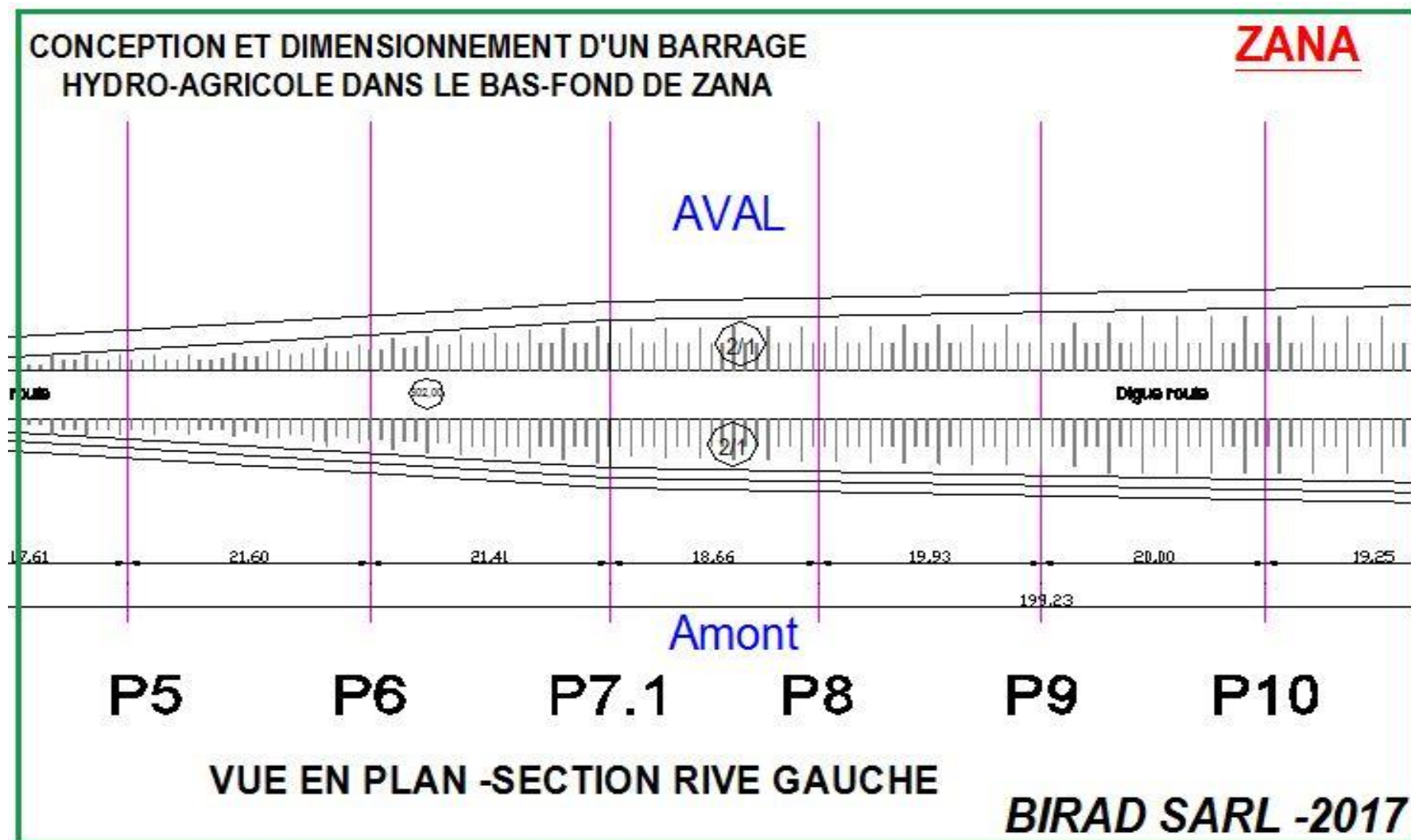
- o Vue en plan général



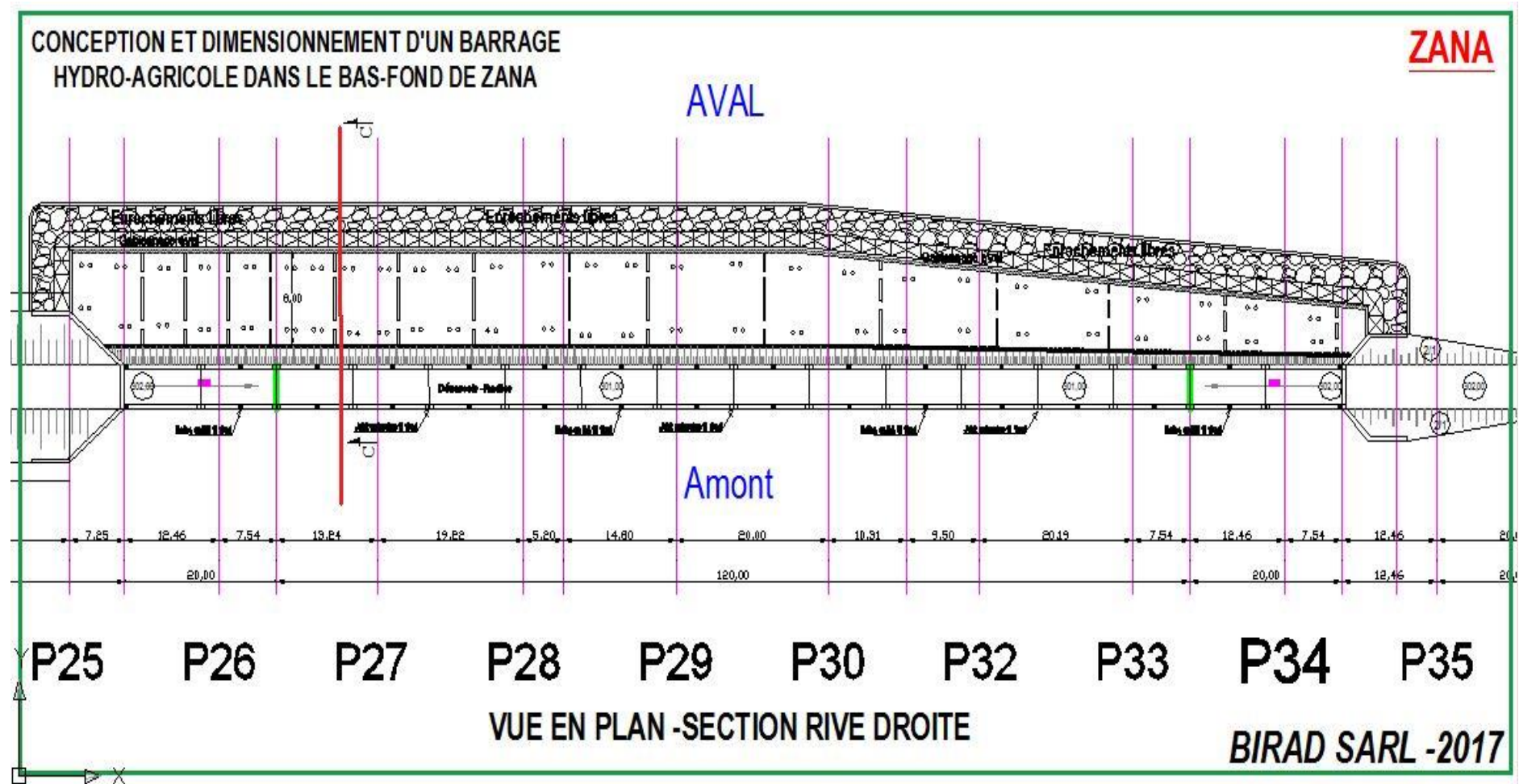
- o Vue en plan – partie centrale



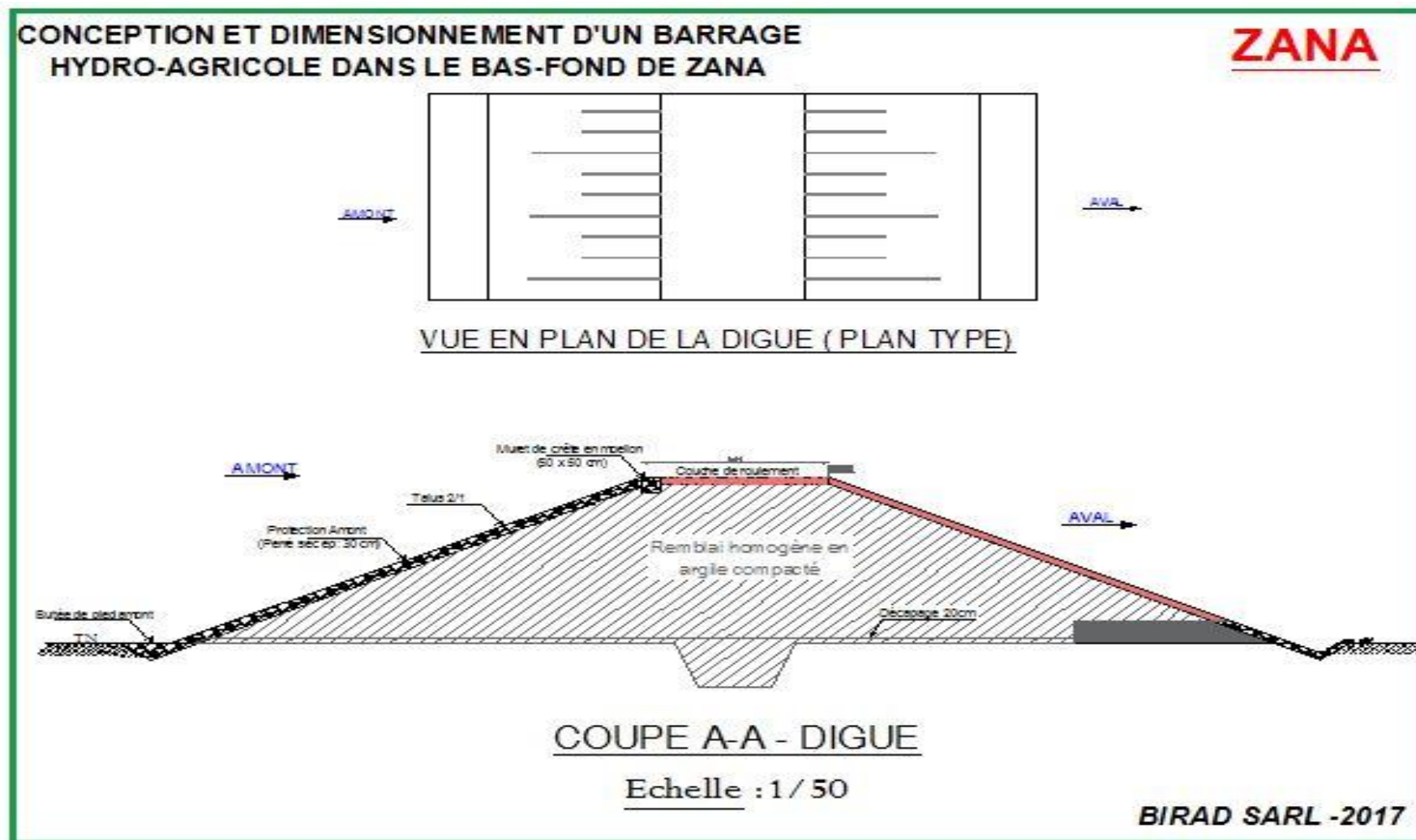
- o Vue en plan – section Rive Gauche



- o Vue en plan – section Rive Droite



VI.5 Coupe et vue en plan de la Digue



VI.6 Coupe du Déversoir et Ouvrage de vidange

