

**ETUDE DE REHABILITATION DE LA PLAINE DE TOMBOLA,
COMMUNE RURALE DE NOUGA, CERCLE DE KANGABA,
REGION DE KOULIKORO AU MALI**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE
L'ENVIRONNEMENT
OPTION : EAU**

Présenté et soutenu publiquement le [14 Juin 2011] par

Salif CISSE

Travaux dirigés par : Bassirou BOUBE

Enseignant, Chercheur

UTER GVEA

Jury d'évaluation du stage :

Président :

Dr Harouna **KARAMBIRI**

Membres et correcteurs :

Sewa K. DA **SILVEIRA**

Promotion [2009/2011]

CITATIONS

Un ingénieur, ce n'est pas seulement qui crée du neuf. Il doit être capable de développer une ingénierie de la maintenance et une ingénierie de la réhabilitation !

Tous les ouvrages sont des êtres vivants, qui changent, évoluent, souffrent, ont une histoire... Rien n'est complètement statique. Les vieux barrages sont des « anciens » qui peuvent donner vie à de jeunes descendants plus jeunes et plus performants ! L'héritage, le patrimoine qu'ils nous laissent sont importants et respectables.

(Henri VORON, Ingénieur du génie rural)

REMERCIEMENTS/DEDICACES

A ma mère, mon père, mes frères et sœurs ;

Je dédie ce travail pour l'amour et le soutien indéfectible que vous m'avez témoigné pendant ces deux longues années d'absence à vos côtés. Puisse Dieu vous en ouvrir les portes d'une satisfaction méritée.

Je voudrais ici témoigné ma profonde gratitude à l'égard de tous ceux qui de près ou de loin m'ont apporté un soutien pour la bonne exécution de ce travail.

Mes pensées vont particulièrement à :

Tout le personnel de « I-SEPT », son directeur général et son directeur technique pour la confiance qu'ils ont placé en moi et l'appui financier durant cette formation.

Mes Encadreurs M. Amadou KEITA du 2ie, M. Bassirou BOUBE du 2ie et M. Assimi DEMBELE ingénieur aménagiste au Mali pour les conseils et orientations qu'ils m'ont donnés tout au long de ce travail.

M. Balladjan KEITA à Kangaba, M. Kanté et tous les habitants du village de Tombola pour leur disponibilité lors de notre visite sur le site du projet dans le cadre de ce mémoire.

Mes compatriotes, collègues et amis de la promotion de Masters 2009-2011 du 2iE ; merci pour l'amitié et le soutien que vous m'avez apporté durant ces années d'épreuves et de victoires passées ensemble.

A toute la Direction du 2iE et tout le corps des Enseignants, pour la formation de qualité qu'ils nous ont transmise.

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

RESUME

Cette étude s'inscrit dans le cadre du programme gouvernemental d'aménagement de 2500 ha de bas-fonds. Elle vise l'élaboration d'études techniques de la réhabilitation de la **plaine** inondable de Tombola, en bordure du fleuve Niger dans la commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba au Mali.

Le périmètre a bien fonctionné jusqu'en 1965 et fut abandonné lors des années de sécheresse. Un constat établi en novembre 1990 par la DRGR de Koulikoro sur la plaine a permis des travaux de réhabilitation et de réaménagement dans les années 2000-2001 pour une superficie aménageable de 250 hectares.

Aujourd'hui la plaine de Tombola fonctionne encore mais elle est confrontée à beaucoup de difficulté du point de vu fonctionnement. Certes les ouvrages en béton sont en bon état mais le manque de certains équipements et la dégradation progressive de la digue de ceinture entraînent une baisse de rendement et causent souvent des dégâts considérables (inondation incontrôlée).

Le présent rapport constitue une des solutions assorties des études qui ont été menées conformément aux termes de la mission consignés dans les TDR, qui visent à améliorer les conditions d'exploitation et à répondre aux attentes des bénéficiaires développés dans les différents chapitres.

La capacité de stockage de la cuvette du marigot est estimée à 3 100 000m³ pour une superficie aménageable de 505 ha au niveau de la plaine. La digue de protection a été calée à la cote 368m contre les inondations récurrentes.

Mots Clés :

- 1 - Bassin versant**
- 2 - Barrage**
- 3 - Crue**
- 4 - Plaine**
- 5 - Riziculture**

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

ABSTRACT

This study is part of the government's management of 2500 ha of lowland. It aims to develop technical studies for rehabilitation of the flood plain of Tombola, along the Niger River in the rural town of Nougua circle Kangaba Mali.

The scope worked well until 1965 and was abandoned during years of drought. A statement issued in November 1990 by DRGR Koulikoro on the plain has allowed for rehabilitation and redevelopment in the years 2000-2001 to an area suitable for conversion of 250 hectares.

Today's Plain Raffle still works but it faces many difficulties from the point of view function. While concrete structures are in good condition but the lack of certain equipment and the gradual deterioration of the dike belt result in lower performance and often cause considerable damage (flood control).

This report is one of the solutions matched studies that were conducted in accordance with the terms of the mission contained in the TDR, which aim to improve operating conditions and meet the expectations of the recipients developed in the different chapters.

The storage capacity of the basin of the creek is estimated at 3100 for a 000m³ area of 505 ha converted to level the plain. The breakwater was rigged to 368m rating against the recurring floods.

Key words:

- 1 – Watershed
- 2 - Dam
- 3 - Raw
- 4 - Plain
- 5 – Rice growing

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
APD	: Avant Projet Détaillé
BV	: Bassin Versant
CSA	: Commissariat à la Sécurité Alimentaire
DNH	: Direction Nationale de l'Hydraulique
DNM	: Direction Nationale de Météorologie
DRGR	: Direction Régionale du Génie Rural
ETo	: Evapotranspiration de référence
FN	: Fleuve Niger
MNT	: Modèle Numérique du Terrain
P	: Pluviométrie
PNE	: Plan d'Eau Normale
PSA	: Plan de Sécurité Alimentaire
TDR	: Termes de Références
SETADE	: Société d'Etudes et d'Assistance pour le Développement

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

SOMMAIRE

I. Introduction et Généralités.....	4
II. Objectifs et résultats attendus	8
III. Méthodes et matériels.....	9
IV. Résultats	18
V. Discussion et Analyses.....	26
VI. Conclusions.....	30
VII. Recommandations - Perspectives	31
VIII. Bibliographie	33
IX Annexes.....	34

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Limite culturelle préconisée.....	10
Tableau II : Caractéristiques hydro morphologiques du BV.....	18
Tableau III : Récapitulation des valeurs caractéristiques.....	19
Tableau IV : Récapitulatif des caractéristiques physique de la crue - crue de projet	19
Tableau V : Estimation des apports liquides dans la retenue projetée (Bassin type Barrora)..	19
Tableau VI: Récapitulatif du calcul des apports solides	20
Tableau VII : Besoins en eau mensuels du riz (Cropwat V.8).....	20
Tableau VIII : Besoin en eau et superficie aménageable	20
Tableau IX : Programme de remplissage de la plaine.....	21
Tableau X : Analyse du plan d'eau après fermeture des vannes.....	23
Tableau XI : Programme de vidange de la plaine	23
Tableau XII : Récapitulatif des résultats de dimensionnement.....	24
Tableau XIII : Caractéristiques du riz dressé	36
Tableau XIV : Caractéristiques du riz flottant	36
Tableau XV : Proposition des variétés améliorées à adaptées	36
Tableau XVI : Paramètre de description de l'échantillon	40
Tableau XVII ; Valeur du coefficient de ruissellement Kr	44
Tableau XVIII: Apports solides	48
Tableau XIX : Calcul de la surface inondable en fonction des altitudes	49
Tableau XX : Simulation de l'exploitation de la plaine.....	52
Tableau XXI : Paramètres de vérification des ouvrages	56
Tableau XXII : calendrier cultural type de la plaine de tombola	58
Tableau XXIII : Récapitulatif du programme cultural.....	58
Tableau XXIV: Devis quantitatif et estimatif	59

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de localisation de la zone du projet.....	5
Figure 2 : Schéma d'aménagement de la plaine de Tombola	17
Figure 3 : Courbe hypsométrique.....	18
Figure 4: Schéma de la répartition des franges culturales.....	20
Figure 5: Courbe hauteurs – surfaces du BV	22
Figure 6: Courbe hauteurs – volumes du BV et détermination du PEN de la retenue.....	22
Figure 7 : Courbe de variation de la retenue	23
Figure 8: Pluviométriques mensuelles du poste de Kangaba (source DNM)	39
Figure 9: Pluviométries annuelles de Kangaba.....	39
Figure 10 : Histogramme classe 50 mm.....	40
Figure 11 : Histogramme classe 100 mm.....	41
Figure 12: Courbe expérimentale $F(x_i)$	41
Figure 13: Présentation de $F(X_i)$ (intervalle de confiance).....	42
Figure 14 : Schéma de la détermination de la hauteur du barrage	50
Figure 15 : Courbe d'évolution des besoins en eau net du riz	51
Figure 16 : Courbes hauteurs – surfaces de la zone aménageable de la plaine.....	52
Figure 17 : superficie cultivable par frange culturale de la plaine	53
Figure 18 : Schéma type de réhabilitation de la digue de ceinture	57
Figure 19: Plan topographique de la plaine de Tombola (source SETAD)	60

I. INTRODUCTION ET GENERALITES

1.1 INTRODUCTION

Le grand défi du 21^{ème} siècle sera celui de la capacité de chaque nation à nourrir sa population. Le Mali ambitionne de relever ce défi, voire de satisfaire une partie des besoins en céréales de la sous-région Ouest- Africaine.

Aujourd'hui, l'essentiel de la production agricole du Mali est tributaire de la pluviométrie.

Les pluies, bien que relativement abondantes dans la zone concernée par le présent projet par rapport au reste du pays, n'arrivent pas à satisfaire les besoins de toutes les cultures pendant une partie de l'année, compte tenu de leur concentration sur une courte période et de leur irrégularité. Depuis quelques décennies, le caractère aléatoire de cette pluviométrie pose des problèmes de sécurisation de la production agricole que seule l'irrigation peut assurer. Mieux, l'irrigation permet de tripler voire quadrupler les rendements de l'agriculture pluviale et augmente l'intensité culturale. L'aménagement des plaines en périmètres irrigués, où les conditions d'exploitation sont maîtrisées, constitue un des axes majeurs de l'intervention du gouvernement du Mali à travers sa mission du programme gouvernemental d'aménagement et plus spécifiquement celui de la mise en valeur de **2500 ha** de bas-fonds.

C'est dans ce cadre que la DNGR du Mali a confié au bureau d'étude SETADE l'étude de réhabilitation de la plaine de Tombola. Depuis sa mise en exploitation cette plaine a contribué à l'amélioration de la production locale en riz. L'irrégularité de la pluviométrie dans la zone est avantageusement compensée au niveau de la plaine par les écoulements du marigot « Kokoyon » à travers le barrage en béton édifié sur celui-ci. Ce marigot draine les eaux de surface vers le barrage avant de se jeter dans le FN.

Des travaux de réhabilitation de la plaine dans les années 2000 à 2001 ont permis la réalisation d'un canal secondaire de 750m de long, un ouvrage de franchissement, le renouvellement des équipements des ouvrages existants etc. (ESAD-MALI, 2000). Malgré ces travaux destinés à améliorer la production et à assurer le bon fonctionnement de la plaine, aujourd'hui les exploitants sont confrontés à un certain nombre de difficultés notamment :

- a. Les difficultés liées au remplissage et à la vidange de la plaine ;
- b. La dégradation des digues de ceinture et précisément une grande partie de celle du côté sud-ouest (Djelibougou) qui n'assure plus son rôle de protection, laissant passer une quantité d'eau excédentaire dans la grande plaine ;
- c. La dégradation de certains équipements des ouvrages dans la plaine ;
- d. Les difficultés liées à la gestion et à la planification de l'irrigation de la plaine ;

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nouga, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

Le présent rapport se propose l'étude de la réhabilitation de la plaine de Tombola. A cet égard, on s'évertuera d'analyser d'avantage la situation actuelle de l'exploitation de la plaine, de projeter et d'étudier éventuellement des nouveaux ouvrages afin de concocter les éléments nécessaires au bon fonctionnement de cette plaine.

1.2 MILIEUX PHYSIQUE

1.2.1 Localisation de la zone du projet et du site

La zone concernée par cette étude appelée la plaine de Tombola est entièrement comprise entre le village de Tombola, Danga et Djelibougou dans la deuxième (2^e) région du Mali (Koulikoro), cercle de **Kangaba** et commune rurale de Nouga. Elle est située au sud-est de Bamako à environ 145km accessible par la route nationale Bamako-Kangaba. Les coordonnées géographiques du site du projet relevées via un GPS garmin 60 sont :

Longitude : -8°42'44.0''

Latitude : 11°40'44.1''

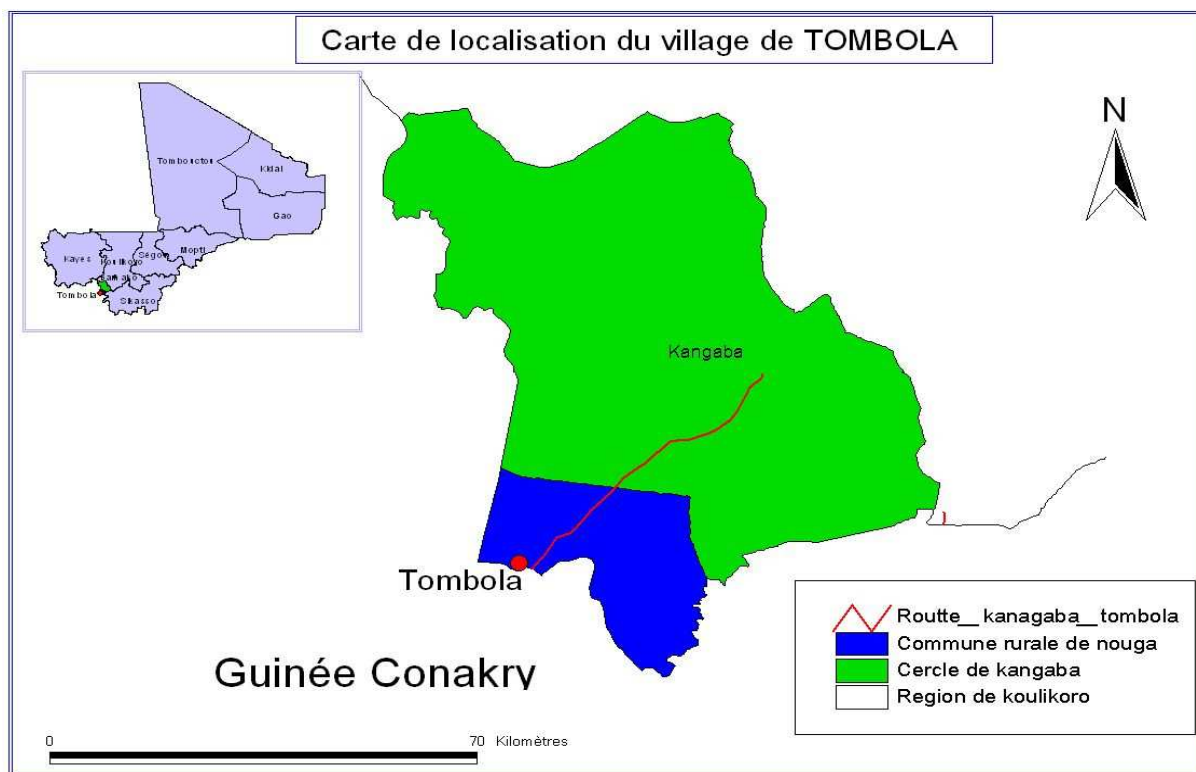


Figure 1: Carte de localisation de la zone du projet

1.2.2 Etudes topographiques - Relief

Le relief de la zone est accidenté à cause de l'existence des derniers contreforts des monts mandingues. Il est composé de plaines, quelques plateaux et de la colline dont le versant sud présente un dénivellement qui favorise le drainage des eaux de pluies vers le lit du fleuve Niger au sud du village.

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

La plaine inondable de Tombola longeant le fleuve Niger présente une configuration plate.

Les travaux topographiques ont concerné la plaine et les sites des ouvrages à réhabiliter ou à réaliser. Les détails des levées se trouvent sur un plan topographique au 1/2000^e avec courbes de niveau (voir annexes).

L'appréciation de la topographie au niveau du BV a été effectuée sur la base des MNT et à l'aide d'une carte ING de la région.

1.2.3 Climat

Situé dans la zone pré-Guinéenne, le village de Tombola connaît deux saisons :

- Une saison pluvieuse de **mai à octobre** avec les premières pluies en avril et des précipitations abondantes atteignant leur maximum **en juillet et Août** soit 800 à 1200 mm par an, ce qui classe la zone parmi les plus arrosées du pays.
- Une saison sèche qui se subdivise en sèche-froide de **novembre à février** et chaude de **mars à avril**.

Les températures moyennes annuelles tournent autour de 22°C qui est relativement douce par rapport à la moyenne nationale 29°C.

Les vents dominants sont : l'harmattan et la mousson.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne mensuelle annuelle est de 145mm pour le mois d'Août et de 150 mm pendant le mois de septembre (PNUD-Mali, 1990) (source DNM). Pendant la période du mois de juin au mois de septembre, les moyennes pluviométriques annuelles sont supérieures aux moyennes mensuelles de l'ETP.

1.2.4 Ressources en eaux

La principale ressource en eau pour l'alimentation de la plaine de Tombola pendant la saison hivernale constitue le marigot « le Kokoyon » non pérenne (sèche de février à fin avril). Il traverse les villages de Tombola, Danga, Banancoro avant de se jeter dans le Niger. L'alimentation de la plaine est assurée grâce à la réalisation du barrage en béton et de l'ouvrage d'admission sur ce marigot. Le régime de débit naturel de la retenue d'eau du Kokoyon comporte une saison de crue qui correspond à la période d'hivernage assez courte et une longue saison sèche.

Le marigot Badot servant de frontière entre les villages de Djoulafondo au Mali et Nafadji en Guinée constitue la seconde ressource en eau à partir de la plaine de Djoulafondo. Cependant les eaux de ce dernier ne sont utilisées qu'en cas de non disponibilité ou d'insuffisance de celles du marigot Kokoyon.

En plus de ces principales ressources il existe quelques petites mares temporaires dans la zone

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

servant de lieux de pêche collectives et d'abreuvement des animaux.

1.2.5 Ressources en sol

D'une manière générale le sol de plaine étudiée est caractérisé en majorité (75 %) comme des sols hydromorphes à texture fine (30 à 40 % d'argile). Ces terres sont aptes pour la riziculture en simple ou double saison dépendant de la disponibilité en eau d'irrigation. Leur faible perméabilité et leur forte capacité de rétention font d'eux des sols favorables à la riziculture (source Etude pédologique des petits barrages dans la région de Kangaba).

1.2.6 Végétation

D'une manière générale la végétation est essentiellement constituée de savanes arborées avec quelques galeries de forêts arbustives, surtout au sud des cours d'eaux, de grands arbres tels que kaya senegalensis (caicédrat), le Vitelaria paradoxale (karité ou si), le Parkia biglobosa (nééré), le jujuphis mauritania (jujubier ou tomonon), et diverses autres espèces ligneuses constituent le peuplement du massif forestier (CSA, 2007).

Plus précisément la végétation au niveau de la plaine est dominée par des hautes herbes et quelques arbres tels que des manguiers, des pommes d'acajous, des karités etc.

1.3 MILIEUX HUMAINS

1.3.1 Population et paramètres démographiques

Le village concerné par le projet est « Tombola ». Il compte selon les résultats du recensement administratif à caractère Electoral 2001, 864 **habitants** dont 441 femmes et 423 hommes (CSA, 2007).

L'ethnie dominante est le Malinké, on dénombre aussi dans les villages une minorité de Bambaras, de Peuhls, de Bozo etc.

1.3.2 Analyse socio-économique et foncière

L'activité principale dans la zone est l'agriculture. Elle est dominée par la culture du riz qui demeure la principale production céréalière suivit du maïs, du sorgho, du mil. En plus de ses cultures vivrières, on cultive des cultures de rentes comme l'arachide, le coton, le tabac et le niébé (CSA, 2007).

Le maraîchage pratiqué par quelques familles pendant la saison sèche (octobre en avril), constitue le domaine de commercialisation. Les principales spéculations maraîchères sont : La pomme de terre, l'échalote, l'oignon ; la carotte, la tomate et le chou.

En plus de l'agriculture les habitants du village de tombola pratiquent l'élevage, la pêche et l'orpaillage.

Afin d'assurer la pérennité du projet, un « comité de gestion de l'eau » composé des villageois

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

de Tombola et de Dagan assure sur place le suivi du périmètre.

Les rendements à l'hectare obtenu de l'année pluviale sont de l'ordre de 1000 à 1500 kg (ESAD-MALI, 2000).

Les techniques culturales sont rudimentaires (travail quasi exclusivement à la daba).

Le fumier est le principal fertilisant utilisé, les engrais chimiques sont très peu utilisés dans la plaine aménagée.

La taille des attributions des parcelles est en moyenne de 2 à 10ha pour le riz et par famille selon la répartition traditionnelle.

Les contraintes qui peuvent entraver la mise en valeur agricole à l'intérieur du périmètre ont trait aux aspects récapitulés comme suit :

- Contraintes de production : Manque d'équipements et d'intrants ainsi que les difficultés de financement ;
- Contraintes environnementales: Inondation, mauvaises herbes « le Digua » ;
- Contraintes sociales : conflits internes liés à la gestion de la plaine aménagée ;

II. OBJECTIFS ET RESULTATS ATTENDUS

L'objectif global de cette étude est d'aboutir à un rapport d'avant-projet détaillé pour la réhabilitation de l'aménagement hydro agricole de la plaine de **Tombola**.

Cette étude vise à améliorer la production actuelle du périmètre, à apporter des solutions aux contraintes et difficultés citées en (I) et à satisfaire les attentes des bénéficiaires. Elles peuvent se résumer à la disponibilité d'une grande superficie des terres bien aménagées et une quantité d'eau suffisante à la hauteur de la demande, l'amélioration des conditions de remplissage et de vidange de la plaine, le rechargement de la digue de ceinture, l'appui en intrants et en équipements.

A l'issue des études, un dossier technique et administratif sera fourni conformément aux termes de références dont le contenu est le suivant :

Dossier technique

- un mémoire technique explicatif justifiant les paramètres de base, la conception et les dispositions techniques particulières retenues composé de :
 - l'état de lieux des aménagements existants ;
 - un schéma général de développement agricole assorti des études de bases ;
- des annexes composées de notes de calculs et toutes les pièces dessinées nécessaires.
- Devis quantitatif et estimatif

III. METHODES ET MATERIELS

La démarche méthodologique utilisée, dans le cadre de la réalisation de cette étude, est le fruit d'un processus qui a été ponctué conformément aux termes de références par la revue documentaire, les visites de terrains et les séances de travail en bureau d'étude. En conséquence, elle a comporté huit (8) étapes, comme suit :

- la collecte des données de bases issues de l'analyse documentaire (voir 1.2);
- une analyse socio-économique et foncière sur la base de la documentation existante des zones de la plaine de Tombola concernée dans le cadre de la décentralisation (voir 1.3) ;
- la définition des contraintes agronomiques de remplissage et des spéculations à adoptées (voir 3.1.1);
- l'analyse de l'état des aménagements existants en effectuant des visites sur le site (voir 3.3.3);
- l'analyse des besoins en eau du site, des conditions de remplissage et de vidange de la plaine (voir 3.2.2) ;
- l'étude de réhabilitation des infrastructures de la plaine (voir 3.3.4) ;
- l'élaboration de toutes les pièces dessinées nécessaires (voir annexe/pièces dessinées).
- l'avant métré (devis quantitatif et estimatif) (voir annexes).

Les matériels utilisés sont :

- un GPS Garmin 60 pour relever les coordonnées géographiques des éléments sur le terrain;
- un ruban gradué (mètre) pour effectuer les mesures nécessaires;
- une carte IGN de la zone pour l'appréciation et la délimitation du BV du Kokoyon;
- une série de pluviométrie relevée au poste pluviométrique de Kangaba, période 1970-2010;
- des logiciels tels que : Arc view 3.a, Arcgis 9, AutoCad 2008, Climwat 2.0, Covadis 9.1, Cropwat 8.0, Epoint2cad, Gepath1.4.4a, Hydrolab, Wintopo, 3DBR, etc.

3.1.1 Contraintes agronomiques de remplissage

Dans le cadre de ce projet, elle concerne essentiellement la riziculture dont les travaux débutent en mai-début juin (nettoyage des parcelles). Ce riz pluvial comporte deux franges variétales de riz de l'espèce « *Oryza sativa* » selon le principe de mis en valeur agricole de la

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

plaine. Il s'agit du riz dressé et du riz flottant.

Les premiers ensemencements de riz sont effectués dès les premières pluies en semis directe à la volée sur une période d'environ un(1) mois (mi juin-mi juillet) et récolté fin octobre - novembre. Par rapport au repiquage, le semis direct présente l'avantage d'être plus économique en main-d'œuvre en début de cycle, de ne pas faire subir aux jeunes plants un choc physiologique qui allonge le cycle,... (GRET-CIRAD, 2002). En effet la pratique de la riziculture de submersion contrôlée exige des contraintes dans le remplissage de la plaine (voir annexe I), dont il faut tenir compte dans l'étude hydraulique (source : laboratoire de contrôle des semences – division de la recherche agronomique à Sotuba) :

- **Riz dressé (pluvial pur) : 95 – 120 jours**
 - Lamé d'eau maximale admise : 50 – 60 cm
 - Vitesse moyenne de montée de l'eau : 3 cm/j.
- **Riz flottant : 110 – 165 jours**
 - Lamé d'eau jusqu'à 145 cm
 - Vitesse moyenne de montée des eaux : 5cm/j.

Les franges et les limites culturales adoptées en fonctions de ces contraintes sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau I : Limite culturale préconisée

Désignation	Lamé d'eau (cm)	Superficie (ha)	Variétés proposées
Frange 1	0 à 0.3	255	BG 90 –2
Frange 2	50 à 100	250	Gambiaka

Il faut signaler que ces contraintes sont les résultats des années d'expériences dans la pratique de la riziculture de submersion au Mali dont le mode de gestion est parfaitement assimilé par les paysans. Elles assurent l'alimentation hydrique programmée du riz et permettent sa croissance jusqu'à sa maturité. Il faut préciser que les limites entre franges sont préconisées par les normes habituelles de la submersion contrôlée au Mali.

3.2.2 Schéma d'aménagement hydro-agricole de la plaine

Au Mali, la problématique de la mise en valeur des aménagements hydro agricoles se pose en termes d'accès au conseil agricole, aux intrants et itinéraires améliorés, aux services financiers et à la formation à la gestion (DGR, 2005).

Le principe de mise en valeur agricole de la plaine de Tombola porte sur la submersion contrôlée pratiquée sur les grands périmètres en termes de superficie au Mali dans les régions

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro de Mopti, Ségou, Gao, Tombouctou, Kayes etc.

Ces aménagements des deltas du Sénégal et du Niger ont été étendus et modernisés sous la forme de « casiers de submersion contrôlée » par les colonisateurs depuis les années 1930. Ce système a d'ailleurs été à la base de la prospérité de l'Égypte durant des millénaires (C.CASTELLANET, 1992). La submersion contrôlée consiste à la maîtrise partielle du plan de l'eau pour une meilleure irrigation et vise à améliorer les conditions de remplissage et de vidanges de la plaine. Plus spécifiquement il s'agit d'assurer :

- la protection de la plaine contre les inondations ;
- un meilleur contrôle du remplissage ;
- une meilleure conduite de l'eau dans la plaine afin de permettre aux zones de mêmes altitudes de recevoir de l'eau en même temps ;
- l'alimentation en eau de la surface cultivable au point de vue submersion par le choix d'une crue assez fréquente.

L'aménagement de la plaine de Tombola comprend (voir Figure 2) :

- un barrage en béton sur le marigot Kokoyon munis de vannes de contrôles et des échelles de crues pour contrôler la montée de la crue et le rythme de vidange ;
- un ouvrage d'admission principal placé en tête du canal principal en amont du barrage munis de fermetures ;
- une digue de ceinture en terre contre les crues précoces et les décrues précoces ;
- un ouvrage d'admission intermédiaire munis de fermeture placé en tête de la plaine ;
- un ouvrage d'admission secondaire qui assure l'alimentation en eau de la plaine à partir de celle de Djoulafoundou ;
- un ouvrage de vidange placé au sud de la plaine ;
- un canal principal reliant la plaine à l'ouvrage d'admission ;
- des ouvrages de répartitions ou partiteurs placé sur le canal principal;

Parmi les difficultés liées à l'exploitation de la plaine, il ya la mauvaise gestion et de planification de l'irrigation de la plaine. En effet, la non maîtrise du système de remplissage de la plaine est source de beaucoup de difficulté pour l'alimentation hydrique des cultures des premières parcelles ainsi que pour le programme de travail des exploitants. En dépit de toute ces difficultés, ces parcelles inondées en premières et exondées en dernières peuvent parfois poser des pertes en terme de rendement si leur remplissage est précoce ou leur vidange tardive.

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

En période des crues exceptionnelles le plan d'eau du fleuve Niger peut atteindre la plaine du côté sud-est. Cette condition représente un réel danger pour la protection de la plaine contre les inondations compte tenu du mauvais état de la digue de protection.

Au vu des ces problématiques ci dessus la réhabilitation consistera :

- la détermination des superficies susceptibles d'être exploitées sous l'effet des ouvrages ;
- la sécurisation des cultures (riz) par le rechargement de la digue de ceinture et la vérification du fonctionnement des ouvrages existants avec les nouvelles conditions de remplissage qui seront définies ;
- la définition du mode d'alimentation de la plaine (condition de remplissage et de vidange) ;
- le revêtement du canal d'aménagé ;
- éventuellement des nouveaux ouvrages indispensables au bon fonctionnement de la plaine ;
- l'élaboration d'un calendrier cultural en tenant compte des pratiques habituelles au niveau de la plaine ;

3.3.3 Études hydrologiques et hydrauliques

La maîtrise de l'eau est un des préalables fondamentaux pour le développement de la plaine de Tombola. La réhabilitation des aménagements de celle-ci requiert deux informations importantes et difficiles à estimer à l'absence de réseaux de mesure hydrologique. Il s'agit d'une part des événements hydrologiques exceptionnels (crues), dont la quantification requise pour le dimensionnement des ouvrages et d'autre part des volumes d'écoulement des bassins versants, nécessaires à l'estimation du potentiel de développement hydraulique et au dimensionnement des retenues de barrages (FAO, 1994).

Ces études concerneront les conditions de remplissage et de vidange de la plaine, précisément la détermination des caractéristiques hydro morphologiques du BV, l'étude des crues, l'étude de pluies et l'étude des apports liquides et solides, la vérification de la capacité hydraulique des ouvrages. Les résultats des calculs sont récapitulés en V et les détails en annexes (notes de calculs).

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

Caractéristiques Hydro morphologiques du BV

Le bassin versant a été identifié et délimité à partir de Google Earth sur la base des données SRTM (raster) puis vérifié sur une carte IGN de la zone après avoir procédé à sa délimitation selon les principes de la définition d'un **BV**¹. Ces résultats ont été ensuite comparés à ceux obtenus sous ArcGis V9.3 sur la base des MNT. Les superficies obtenues par les différentes procédures sont sensiblement égales. La superficie et le périmètre ont été déterminés à l'aide de l'utilitaire GePath sous Google Earth.

Les autres paramètres récapitulés dans le Tableau IV ont été calculés suivant les formules et principe (voir annexes) décrites dans le document (FAO, 1994).

Etude des pluies

Elle a été effectuée sur la base de la série de relevés pluviométriques mensuelles de la période 1970-2010 du poste pluviométrique de Kangaba (source DNM) situé à environ 40 km de Tombola d'une couverture pouvant être estimée à 6000 km² (ORSTOM, 1986). La technique utilisée consiste en l'estimation de la pluviométrie en année normale, année décennale sèche et décennale humide. Pour se faire, on se propose d'effectuer des ajustements statistiques sur l'échantillon (série de relevés) à l'aide du logiciel **HYDROLAB** développé par J.P LABORDE et un **tableur d'Excel**. Le modèle fréquentiel utilisé est la loi de GAUSS (loi normale). L'échantillon étudié est présenté en annexe III.

Etudes de crues

La crue de projet contre laquelle nous projetons de protéger l'ouvrage (barrage) est la crue centennale. Elle a été déterminée par la méthode d'ORSTOM (voir annexe). Les résultats issus des calculs sont récapitulés dans Tableau IV.

Disponibilité en eau et calcul des apports

La détermination des superficies susceptibles d'être exploitées sous l'effet des apports du BV du Kokoyon nécessite une analyse des courbes de niveau afin de trouver un compromis entre d'une part la quantité d'eau écoulee et pouvant être transportée vers la plaine et d'autre part des considérations d'ordre économique et sécuritaire.

En absence de données hydrométriques l'estimation de l'écoulement annuel d'un BV à un

¹ Bassin versant : marque à la fois la notion topographique de zone limitée par une ligne de partage des eaux et celle de surface d'interception des précipitations susceptibles d'être drainées jusqu'à l'exutoire par le réseau hydrographique (Manuel FAO 54, 1994).

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

exutoire considéré est difficile et très aléatoire. Pour la présente étude la méthode d'évaluation de l'écoulement utilisée est la méthode de RODIER (FAO, 1994) qui donne généralement des résultats proches de la réalité. Pour ce faire, on procède par des approches comparatives avec des BV qui ont des caractéristiques climatiques et physiques assez proches de ceux du BV étudié. Les différentes lames d'eau écoulées pour les années caractéristiques et les volumes d'eau correspondants sont données dans le Tableau V.

A cet effet une simulation effectuée en fonction des besoins en eau de la plaine (fonction de plusieurs contraintes, agronomiques, climatiques, etc.) a permis d'apprécier la faisabilité des activités de remplissage de la plaine.

L'eau qui ruisselle sur les bassins versants entraîne avec elle des matériaux solides qu'elle arrache tout au long de son parcours. Ces matériaux se déposent dès que la vitesse de l'eau devient faible, ce qui est le cas lorsque les eaux de ruissellement aboutissent à une retenue. Les mécanismes érosion –transport- sédimentation sont complexes et dépendent d'un certain nombre de paramètres: (les caractéristiques physiques du BV, la nature du réseau hydrographique, la pluviométrie et le climat, la grandeur associée à ces dépôts solides est la dégradation spécifique (D) le plus souvent en $m^3/km^2/an$ etc.). Le calcul des apports solides a été effectué par les méthodes de CIEH-EIER et GOTTSCHALK (voir annexes). Les résultats de ces analyses sont donnés plus loin en (IV).

Etude de remplissage de la plaine

Le débit à faire passer par les ouvrages d'admissions est la somme de débit:

- nécessaire au remplissage (vitesse de remplissage x surface inondée) ;
- destiné à compenser l'évapotranspiration plus l'infiltration moins la pluviométrie efficace (ETP+I-Pe).

Plus spécifiquement, il s'agit de vérifier que les cotes à l'ouvrage d'admission sont suffisantes pour la mise en eau de la plaine à une date donnée. Ne disposant pas des mesures enregistrées au niveau de l'ouvrage ni aucun élément de comparaison, notre raisonnement sera basé sur les cotes atteintes à l'ouvrage par rapport à celles constatées à l'entrée de la plaine. A cet égard la cote maximale pouvant être atteinte par l'eau sans débordement et sans noyers les ouvrages, est estimée à 372.5m au niveau de l'ouvrage d'admission contre 367m au niveau de la plaine. Le début de remplissage ne doit pas être postérieur à la date du 29 août soit au plutôt 45 jours après les semis, en vue de s'assurer que les dernières Franges de riz reçoivent l'eau en quantité suffisante avant l'arrêt des pluies.

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

Etude de vidange de la plaine

Le principe de vidange se fait de la même manière que pour le remplissage et ne pose généralement pas de problème. La différence se situe du fait que, après fermetures des vannes à la fin du remplissage le plan d'eau dans la plaine baissent à cause de l'évapotranspiration et l'infiltration. Par conséquent le débit spécifique à faire passer est la différence entre :

- Le débit nécessaire au remplissage (vitesse de remplissage x surface inondée) ;
- Le débit destiné à compenser l'évapotranspiration plus l'infiltration moins la pluviométrie efficace (ETP+I-Pe).

Elle doit être effectuée en début de la maturation du riz (1^{er} décade du mois de novembre) pour permettre la récolte à sec. Les principes sont tels que les terres inondées en dernière sont celles exondées en premières. En générale elle s'effectue par l'ouvrage de vidange et les eaux d'évacuation sont directement déversées dans le marigot « Dougoumadalani » sans problème.

Protection de la plaine

Elle concerne d'une part la maîtrise du plan d'eau dans la plaine et d'autre part sa protection contre les eaux extérieures. L'état de la digue de ceinture actuelle ne permet pas cette maîtrise de l'eau à l'intérieur de la plaine durant toute la période de remplissage (surtout le côté sud de la plaine, Djelibougou). C'est pourquoi nous estimons qu'il faut rehausser le niveau de cette digue afin d'assurer le bon fonctionnement de la plaine. On part sur l'hypothèse d'une digue insubmersible et qui sera protégée contre les crues probable du fleuve Niger. A cet effet une analyse des niveaux d'eau (cotes) du FN sera effectuée sur la base des données collectées au niveau de la station hydrométrique de Banankoro (source DNH) sur le FN située dans la zone d'étude. Cette analyse permettra de caler la digue contre la crue centennale du FN (voir IV).

3.3.4 Études de réhabilitation des infrastructures de la plaine

Elle concernera :

- Le rechargement de la digue de protection de la plaine qui est sérieusement dégradées;
- Le renouvellement de la protection des talus au droit des ouvrages d'admission et de vidange de la plaine par la mise en place des gabions de (1x2) m;
- Le revêtement du canal d'amené en béton;
- La réalisation d'une deuxième (2^e) dalle de passage de l'ouvrage de franchissement de la digue au droit de l'ouvrage de vidange pour permettre le passage des charrettes;

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

- Les équipements des partiteurs par la mise en place de nouveaux batardeaux métalliques;
- La pose des échelles au niveau de l'ouvrage d'admission et de vidange;

Les méthodes utilisées pour ces études sont détaillées en annexes VII.

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

Plan d'installation des aménagements de la plaine-schéma d'aménagement

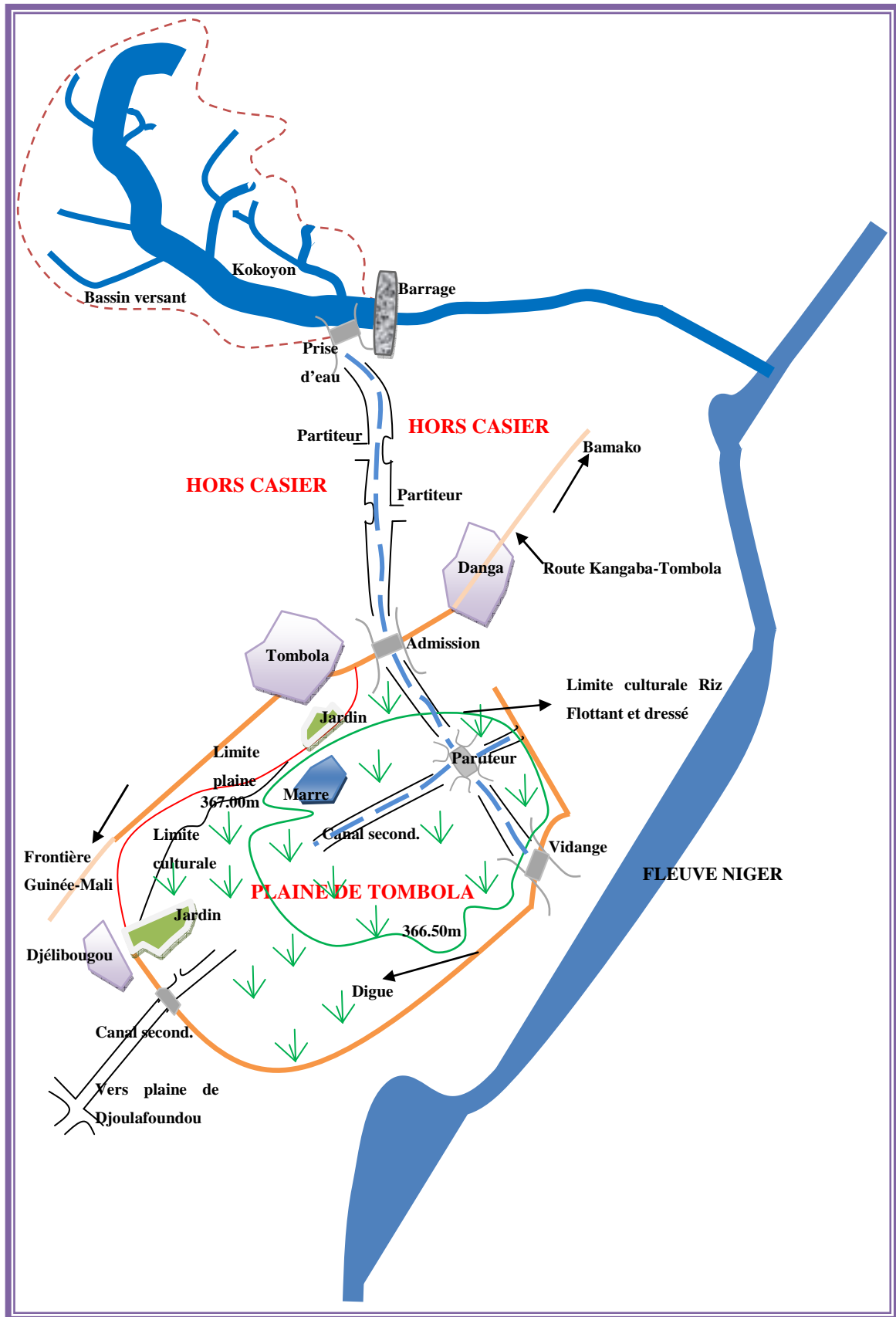


Figure 2 : Schéma d'aménagement de la plaine de Tombola

IV. RESULTATS

Les résultats issus des différentes études sont récapitulés ci-dessous et les détails des calculs sont donnés dans les annexes:

4.1 CARACTERISTIQUES DU BV

Il ressort de la figure que la cote maximale et minimale de la zone délimitée (BV) est respectivement 410m et 350m. Après analyse on constate que : $H_{5\%}$: 402m, $H_{95\%}$: 363m.

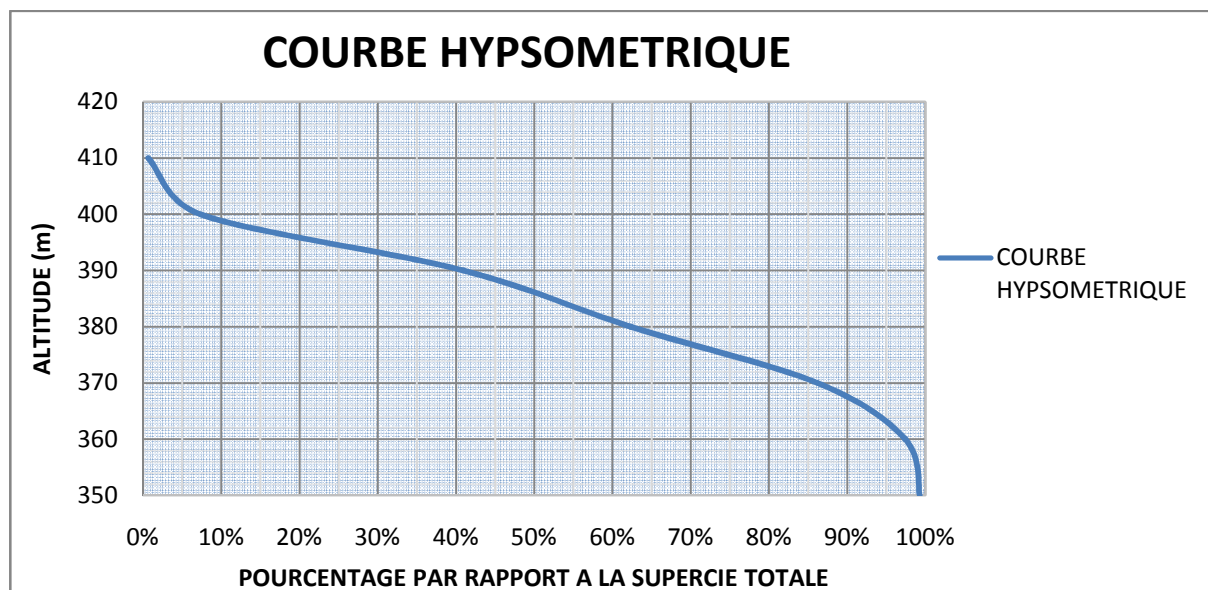


Figure 3 : Courbe hypsométrique

Tableau II : Caractéristiques hydro morphologiques du BV

Paramètres	Symboles	Formules ou méthodes	Valeurs	Unités
Superficie	S	Obtenue à partir de ArcGis et autocad	164	Km ²
Périmètre	P	Obtenue à partir de ArcGis et autocad	67	Km
Indice de compacité	Ic	$(0,28 P) / S^{1/2}$	1.46	m/km
La longueur du rectangle équivalent	L	$[P + (P^2 - 16.S)^{1/2}] / 4$ ou $S^{1/2} * (I_{comp} / 1,128) * [1 + (1 - (1,128 / I_{comp})^2)^{1/2}]$	27.40	km
L'indice global de pente	Ig	$(H_{5\%} - H_{95\%}) / L$	1.42	m/km
Indice de pente global corrigé	Igcor	$[(n-1) \times Ig + IT] / n$	6.95	m/km
Densité de drainage	Dd	Lce / S	0.48	Km ⁻¹
Dénivelé spécifique	Ds	$Ig \cdot S^{1/2}$	18.18	m

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

4.2 CLIMATOLOGIE

Tableau III : Récapitulation des valeurs caractéristiques

Fréquence	0,01	0,10	0,20	0,50	0,80	0,90	0,99
Période de retour (années)	100 (sèches)	10 (sèches)	5 (sèches)	2	5 (humides)	10 (humides)	100 (humides)
Pluies annuelles (mm)	568.70	757.18	836.54	988.37	1140.20	1219.56	1408.04

4.3 HYDROLOGIE

4.3.1 Etudes des crues (méthode d'ORSTOM)

Tableau IV : Récapitulatif des caractéristiques physique de la crue - crue de projet

Paramètres	Valeurs
Temps de base décennale (mn)	1 187,97
Crue décennale max (m3/s)	158,02
Crue centennale (m3/s)	189,63

4.3.1 Apports liquides

Tableau V : Estimation des apports liquides dans la retenue projetée (Bassin type Barrora)

Année caractéristique	Déc. sèche	Quinq. sèche	Moyenne	Quinq. humide	Déc. humide
Lame écoulée (mm)	38	52	75	90	110
Précipitation (mm)	757.18	836.54	988.37	1140.20	1408.04
Coefficient d'écoulement (%)	6.7	6.2	7.6	7.9	9
Volume écoulé (m ³)	6 232 000	8 528 000	12 300 000	14 760 000	18 040 000

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

4.3.2 Apports solides

Tableau VI: Récapitulatif du calcul des apports solides

Dégradation annuelle (m3)	
GOTTSCHALK	CIEH-EIER
432.97	96.87

Soit un apport moyen de $261.42 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ et un volume solide $V_s = 43\,201 \text{ m}^3/\text{an}$.

4.4 ETUDES DES BESOINS EN EAU ET SIMULATION

4.4.1 Besoin en eau de la plaine et superficie aménageable

Tableau VII : Besoins en eau mensuels du riz (Cropwat V.8)

Besoin en eau	Mois					
	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre
ETP-P (mm)	68	178,7	14,3	46,6	133	67,5

Les limites culturales sont illustrées sur la figure suivante :

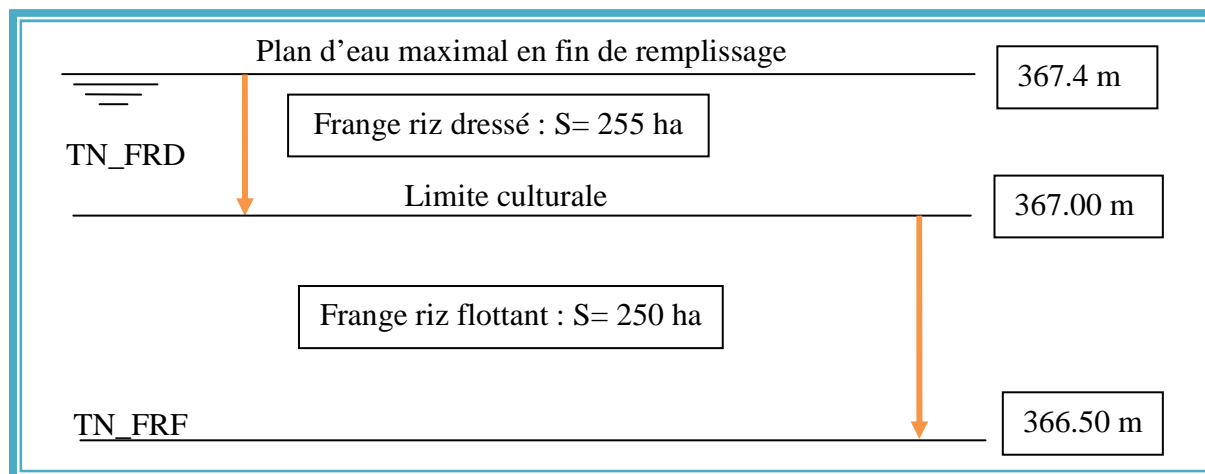


Figure 4: Schéma de la répartition des franges culturales

Tableau VIII : Besoin en eau et superficie aménageable

Zones	Superficie (ha)	Besoin en eau (m3)	Période de remplissage
Plaine de tombola	505	2 765 000	Fin Août- Fin septembre pouvant aller jusqu'au 7 octobre
Hors casier	80	447 930	mi octobre-au plus tard 10 novembre

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

Tableau IX : Programme de remplissage de la plaine

Période	Cote plaine (m)	V remplissage	Besoin journalier	Inf	ETP-P+I	q
Début 29 Août	366,00	cm	cm	cm	cm	l/s/ha
1er jr	366,05	5,00	1,14	0,30	1,44	7,45
2e jr	366,10	5,00	1,14	0,30	1,44	7,45
3e jr	366,15	5,00	1,14	0,30	1,44	7,45
4e jr	366,20	5,00	1,03	0,30	1,33	7,33
5e jr	366,25	5,00	1,03	0,30	1,33	7,33
6e jr	366,30	5,00	1,03	0,30	1,33	7,33
7e jr	366,35	5,00	1,03	0,30	1,33	7,33
8e jr	366,40	5,00	1,03	0,30	1,33	7,33
9e jr	366,45	5,00	1,03	0,30	1,33	7,33
10e jr	366,50	5,00	1,03	0,30	1,33	7,33
11e jr	366,53	3,00	1,03	0,30	1,33	5,01
12e jr	366,56	3,00	1,03	0,30	1,33	5,01
13e jr	366,59	3,00	1,03	0,30	1,33	5,01
14e jr	366,62	3,00	1,31	0,30	1,61	5,34
15e jr	366,65	3,00	1,31	0,30	1,61	5,34
16e jr	366,68	3,00	1,31	0,30	1,61	5,34
17e jr	366,71	3,00	1,31	0,30	1,61	5,34
18e jr	366,74	3,00	1,31	0,30	1,61	5,34
19e jr	366,77	3,00	1,31	0,30	1,61	5,34
20ème jr	366,80	3,00	1,31	0,30	1,61	5,34
21er jr	366,83	3,00	1,31	0,30	1,61	5,34
22e jr	366,86	3,00	1,31	0,30	1,61	5,34
23e jr	366,89	3,00	1,31	0,30	1,61	5,34
24e jr	366,92	3,00	2,32	0,30	2,62	6,50
25e jr	366,95	3,00	2,32	0,30	2,62	6,50
26e jr	366,98	3,00	2,32	0,30	2,62	6,50
27e jr	367,01	3,00	2,32	0,30	2,62	6,50
28e jr	367,04	3,00	2,32	0,30	2,62	6,50
29e jr	367,07	3,00	2,32	0,30	2,62	6,50
30ème jr	367,10	3,00	2,32	0,30	2,62	6,50
31er jr	367,13	3,00	2,32	0,30	2,62	6,50
32e jr	367,16	3,00	2,32	0,30	2,62	6,50
33e jr	367,19	3,00	2,32	0,30	2,62	6,50
34e jr	367,22	3,00	3,41	0,30	3,71	7,77
35e jr	367,25	3,00	3,41	0,30	3,71	7,77
36e jr	367,29	3,00	3,41	0,30	3,71	7,77
37e jr	367,33	3,00	3,41	0,30	3,71	7,77
38e jr	367,36	3,00	3,41	0,30	3,71	7,77
39e jr	367,40	3,00	3,41	0,30	3,71	7,77

4.4.2 Analyse topographique de la cuvette du Kokoyon

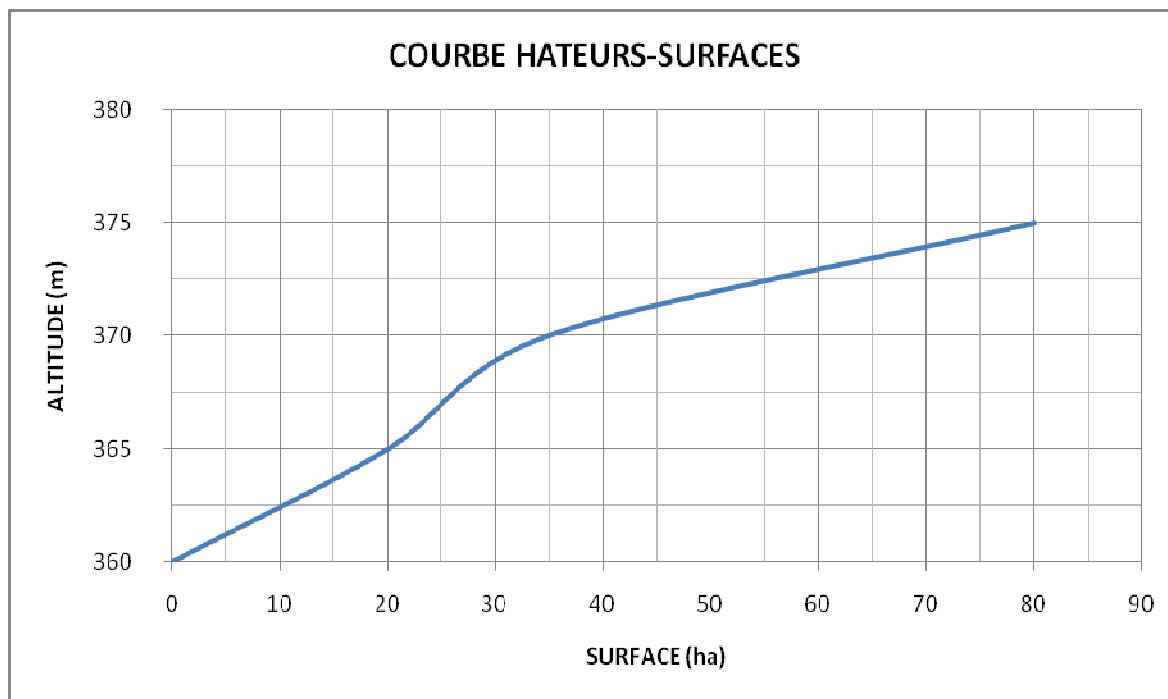


Figure 5: Courbe hauteurs – surfaces du BV

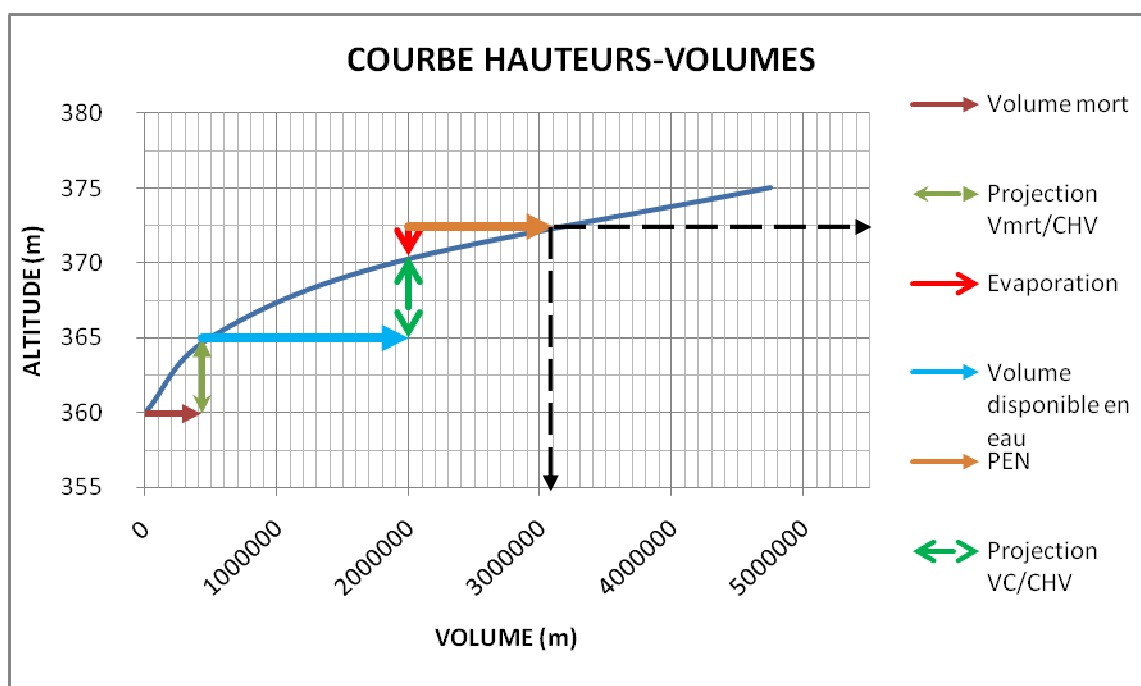


Figure 6: Courbe hauteurs – volumes du BV et détermination du PEN de la retenue

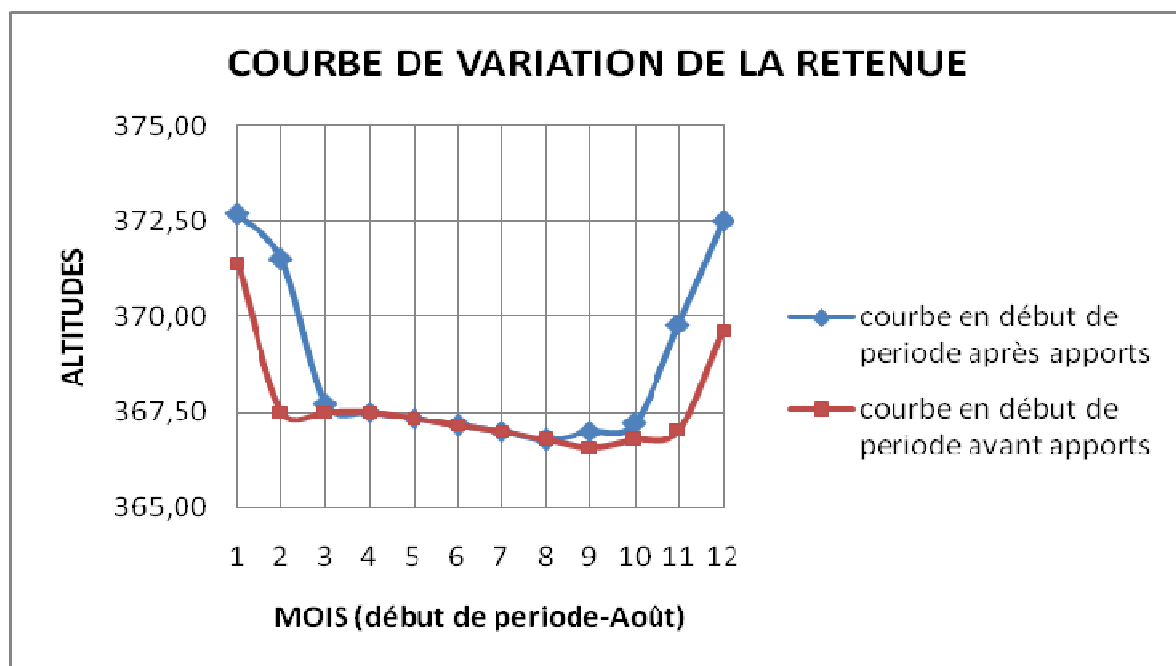


Figure 7 : Courbe de variation de la retenue

Tableau X : Analyse du plan d'eau après fermeture des vannes

Mois	ETP-P+I (mm)	Cote plaine (m)
Septembre	2,32	367,40
Octobre	98,63	367,30
Novembre	61	367,24

Tableau XI : Programme de vidange de la plaine

Période	Cote plaine (m)	V vidange	Besoin journalier	Inf	ETP-P+I	q
15-nov	367,23	cm	cm	cm	cm	l/s/ha
1er jr	367,20	3,00	0,65	0,30	0,95	2,37
2e jr	366,10	5,00	0,65	0,30	0,95	4,69
3e jr	366,15	5,00	0,65	0,30	0,95	4,69
4e jr	366,20	5,00	0,65	0,30	0,95	4,69
5e jr	366,25	5,00	0,65	0,30	0,95	4,69
6e jr	366,30	5,00	0,65	0,30	0,95	4,69
7e jr	366,35	5,00	0,65	0,30	0,95	4,69
8e jr	366,40	5,00	0,65	0,30	0,95	4,69
9e jr	366,45	5,00	0,65	0,30	0,95	4,69
10e jr	366,50	5,00	0,65	0,30	0,95	4,69

4.5 ETUDES DES INFRASTRUCTURES

Tableau XII : Récapitulatif des résultats de dimensionnement

Ouvrages	Paramètres	Anciennes valeurs	Etat actuel	Nouvelles valeurs	Observations
Digue de ceinture en terre au niveau de la plaine	Cote de la digue (m)	max 367.4	insuffisant	368	
	Longueur de la digue (m)	3645	-	3650	
	Largeur en crête (m)	2.5 à 3	-	3	
	Hauteur maximale (m)	0.9	Insuffisant	1.9	A réhabiliter
	Pente du talus amont	-	dégradé	2/1	A réhabiliter
	Pente du talus aval	-	dégradé	2/1	A réhabiliter
	Protection du talus amont	inexistant en des endroits	dégradé	Perré sec	A réhabiliter
	Protection du talus aval	inexistant en des endroits	dégradé	Perré sec	A réhabiliter
	Nombre	1	-	1	
Ouvrage de d'amission principale	Structure en béton (nombre)	1	Bon état	1	RAS
	Vannes	2	Bon état	2	RAS
	Nombre et dimensions des	2	suffisant	2	RAS

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

	passes				
Ouvrage d'amission intermédiaire	Structure en béton	1	Bon état	1	RAS
	Vannes	2	Bon état	2	RAS
	Nombre et dimensions des passes	2	suffisant	2	RAS
	Protections des talus (gabions)	-	dégradé	pose et réparation des gabions (2x2x1)	A réhabiliter
Ouvrage de vidange	Structure en béton (nombre)	1	Bon état	1	RAS
	Vannes	2	Bon état	2	RAS
	Nombre et dimensions des passes	2	suffisant	2	RAS
	Dalle de passage	1	manque d'une dalle	2	mise en place d'une deuxième dalle en béton
Canal d'améné	capacité hydraulique	2000 m	non revêtu	2100 m	A revêtir en béton
Ouvrages de répartition ou partiteur	Structure en béton (nombre)	4	Bon état	-	RAS
	Batardeaux métalliques de 1.5x1x0.1	insuffisantes /inexistantes	dégradés	14	mise en place de 14 vannes métalliques
Barrage en	Structure en béton	-	Bon état	-	RAS

béton	/BD/VN/NP				
-------	-----------	--	--	--	--

V. DISCUSSION ET ANALYSES

Le principe de mise en valeur agricole de la plaine de Tombola présente des avantages et des inconvénients qui sont :

- **les avantages de la submersion contrôlée**
 - aménagement à moindre coût ;
 - maintenance du réseau à peu de frais ;
 - possibilité d'octroyer des parcelles à un grand nombre de riziculteurs.
- **les contraintes de la submersion contrôlée**
 - dépendance de la pluviométrie (installation souvent tardive, arrêt souvent précoce et des déficits);
 - dépendance de la crue souvent très faible et des décrues souvent très tardives;
 - faible intensification.

D'une manière générale les résultats issus des calculs permettent de répondre aux problématiques préalablement posées. Cependant il faut noter que certaines valeurs d'ordre estimatif issu des méthodes empiriques sans d'autres valeurs de comparaisons issues des mesures pratiques restent des estimations avec une certaine incertitude. Les hypothèses de départ sont basées sur les résultats de plusieurs années de pratique de la submersion contrôlée ramenés dans le cadre de ce projet.

En récapitulatif, il ressort des résultats obtenu :

- Le bassin versant du Kokoyon concerné par le présent projet d'une superficie de 164 km² présente une forme compacte avec une densité moyenne du réseau hydrographique de classe d'ordre quatre (4) selon la classification de SCHUMM². Ce type de BV connaît généralement des crues brutales dues au faible temps de concentration. Les valeurs assez élevées de l'indice de pente global (**Ig**) et de l'indice global de pente corrigé (**Igcor**) traduisent le relief sensiblement accidenté du BV, Ce qui a une incidence sur l'écoulement (crues et apports). Il faut rappeler que le relief de la zone concernée par le présent projet est accidenté à cause de l'existence des derniers

² SCHUMM : Est d'ordre x+1 tout tronçon de rivière formé par la réunion de deux (2) cours d'eau d'ordre x.

contreforts des monts mandingues (collines, plateaux, plaines). Néanmoins la valeur de sa dénivelée spécifique permet de le classé « relief faible ».

- L'examen des relevées pluviométriques montre que la quantité moyenne annuelle de pluie recueillie sur la période considérée est de 988.37 mm (moyenne de l'année 1970 à 2010). L'essentiel de la pluviométrie annuelle se concentre sur une période de 6 mois soit Mai à Octobre, avec une pointe dans le mois de juillet et d'Août (Figure 8)

D'une façon générale, on remarque une légère variation de la pluie annuelle dans les trois (3) premiers décades avec deux années de pointes 1975 (1405.3), 1995 (1337.7). Les années les moins pluvieuses de la période 1970 – 2010 avec une pluviométrie annuelle recueillie en dessous de la valeur moyenne ont été 2000 et 2003, qui ont connu une baisse d'environ 40 à 60 % par rapport à la pluviométrie moyenne.

Cependant, une reprise est constatée au cours des sept dernières années (2004-2010).

- Les ajustements effectués sur les échantillons à l'aide des logiciels **HYDROLAB** et **tableur d'Excel** montrent que les séries de pluies annuelles s'ajustent assez bien aux lois de GAUSS (loi Normale). Sur la (Figure 6, annexes II), on constate que plus de 80 % des valeurs de l'échantillon se trouve à l'intérieur de l'intervalle de confiance tracé. Seuls 2 points se trouvent en dehors de l'intervalle, alors on peut dire que la loi utilisée est acceptée. La valeur de la crue decennale qui parvient à l'exutoire a permis de se faire une idée du débit susceptible d'être dérivé vers la plaine mais aussi le débit contre lequel il faut se protéger (crue centennale, Tableau IV).
- Compte tenu des caractéristiques et des infrastructures en aval, la crue de projet ne peut être la crue centennale. Cependant, ne disposant pas de fiche technique du barrage ni aucun document de référence, nous avons retenu cette valeur de la crue centennale soit 189.63 m³/s pour vérifier la capacité de vidange de l'ouvrage. Actuellement avec quatre (4) passes ou ouvertures d'environ deux (2) mètres de large et compte tenu du fait que depuis sa réalisation l'ouvrage n'a connu aucun disfonctionnement à ce niveau, nous pensons que ces dispositifs suffisent pour évacuer ce débit notamment le nombre d'ouvertures. Toute fois il serait avantageux de procéder à un diagnostique plus poussé sur l'ouvrage (barrage) afin de s'assurer de sa propre stabilité ainsi que de celle de son l'assise.

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

- Après examen des différents BV types étudiés en Afrique de l'ouest et particulièrement au Mali, celui de Barraro (proche de Djitiko, Kangaba) a été adopté pour l'estimation des écoulements drainés par le BV du Kokoyon. On obtient un coefficient d'écoulement de 6.7 en année décennale sèche contre 7.6 en moyenne. On peut constater au vu des volumes que le barrage sera rempli (voir Figure 7).
- Le volume solide estimé à 43 201m³/an (voir Tableau VI) est évacué au début de chaque campagne à partir des pertuis. Mais pour des raisons de sécurité et compte tenu de la durée d'existence du barrage, il a été considéré pour les calculs qu'un certain volume soit d'environ 20% du volume solide restera toujours dans le lit du marigot. En pratique on pourra procéder si nécessaire à un curage par les villageois au niveau du barrage.
- Le choix de commencer les semis en mi juin-juillet présente un risque à considérer, celui d'une pluviométrie insuffisante ou même bien plus fréquent leur irrégularité pour faire démarrer le riz pendant cette période. Il est donc souvent préférable d'attendre la première grande pluie qui permettra d'avoir une certaine humidité dans le sol afin de commencer les ensemencements.
- La période de remplissage est de 39 jours dont le démarrage est prévu le 29 août. A cette date la cote du plan d'eau au niveau de l'ouvrage d'admission est de 372.5m soit 1.5 m au dessus de la cote maximale (aménageable) de la plaine (367m) pour un volume de stockage d'eau de 3 100 000 m³. La limite supérieur des cultures est atteinte le 24 septembre et le plan d'eau maximale dans la plaine au plus tard le 27 septembre. Le remplissage se poursuit pour satisfaire les besoins de compensation jusqu'à la fermeture total le 6 octobre soit une cote de plan d'eau de 367.4m. La superficie maximale susceptible d'être plantée en riz est donc celle située en dessous de la cote atteinte par l'eau dans la plaine le 27 septembre.
L'analyse des besoins a permis de déterminer la superficie susceptible d'être alimentée soit environ 505 ha réparties entre les franges (voir Figure 4).
- Le calendrier présenté en annexe (Tableau XXII) a été élaboré conformément à la date de début des travaux (au plus tard début juin) en essayant de trouver un compromis entre l'alimentation hydrique du riz (Figure 15) et la disponibilité de l'eau en quantité suffisante. Bien que la part des pluies reste inférieure au besoin avant le début du remplissage, nous estimons que le riz pourra suivre sa croissance grâce à la période de grande pluie de juillet et à la marre qui reçoit des eaux de ruissellement située dans la

plaine. Toutefois compte tenu du caractère aléatoire de la pluviométrie qui est sensée satisfaire les besoins du riz (levé-tallage) pendant 1 mois et demi soit 45 jours après le semis, il peut s'avérer nécessaire de le réadapter en fonction de ces contraintes. Cependant nous conseillons le début de remplissage de la plaine au plus tard le 1er septembre du fait que le marigot Kokoyon (principale source d'alimentation) n'est pas pérenne et son niveau commence à baisser à partir du mois d'octobre.

- La vidange de la plaine commence la 1ère décennie du mois de novembre (début de maturation du riz) ou au plus tard le 15 novembre. La cote du plan d'eau à cette date est 367.24 m (Tableau X) après un abaissement due à l'évapotranspiration et à l'infiltration. Il faut éviter toute vidange rapide de la plaine tout en procédant à un abaissement qui permettra au riz de boucler son cycle. Par prudence une vitesse de vidange de 5cm/jr a été adoptée pour dix jours de vidange. La date de fin de vidange pour permettre la récolte est au plus tard fin novembre (voir Tableau XI).
- La norme adoptée par le génie rural au Mali consiste à caler les digues pour se protéger de la crue centennale forte du Niger avec une revanche de 0.50m (GNGR-Mali, 1990). Ainsi le principe de calage de la digue de protection a consisté en la mise en évidence du niveau du plan d'eau observé du FN au niveau de la station de Banankoro par rapport à la plaine. En pratique l'installation d'une échelle de crue de contrôle aurait permis de relier la cote dans le Dougoumadalani (au niveau de la plaine) à celle du FN afin de prendre en compte les pertes de charges. Cependant n'ayant pas une telle installation et compte tenu du fait que le FN ne comporte pas de chute ni de rapide dans la zone, on admet que la ligne d'eau dans le Dougoumadalani est linéaire. Cette hypothèse de départ reste une des solutions mais reste très coûteuse. Partant de cette analyse l'hypothèse de départ celui de protéger la plaine contre la crue centennale fut abandonnée au profit d'une solution plus économique. L'analyse s'est portée sur le niveau de calage des digues de ceinture des plaines voisines (Djoulafoundou) et en tenant compte des témoignages de certains vieux du village à mémoire d'homme, ne pas connaître des inondations récentes de la plaine par la crue du FN, nous avons calé la digue à la cote 368 m au dessus du TN avec (50cm de revanche). Ceci permettra de maîtriser le plan de l'eau dans la plaine (367.4m) et de protéger la plaine contre les inondations récurrentes.
- Les ouvrages de remplissage et de vidange ont leur structure en bon état. Cependant

nous avons vérifié leur capacité de remplissage ou de vidange (débit) afin de s'assurer de leur fonctionnement du point de vue hydraulique. Ayant chacun 2 passes (ou ouvertures), le débit à faire passer est estimé à 3.52 m³/s. Après calcul, le nombre de passe retenu est 2 et les dimensions de passes seront conservées (voir annexes IV). Rappelons que ces ouvrages présentent une structure en béton en bon état et ne seront donc pas concernés directement par les travaux de réhabilitation. Cependant des échelles pour le contrôle du plan d'eau à l'entrée et à la sortie de la plaine doivent être mises en place. Aussi une deuxième dalle de passage doit être réalisée au niveau de l'ouvrage de vidange afin de permettre le passage des charrettes des exploitants.

- Certains aspects de cette étude n'ont pas pu être approfondis faute de temps et d'imprécision sur l'objectif recherché notamment le canal d'amené. Le constat fut que la réalisation d'un nouveau canal était en cours et que l'ancien sur lequel nous avons à notre disposition des informations (itinéraire) a été refermé. Compte tenu du temps imparti et le fait que nous n'avons pas pu disposer des informations sur ces travaux, le dimensionnement du canal d'amené n'a pu être effectué. Néanmoins afin de se faire une idée de sa capacité à faire transiter les besoins, sa section a été déterminée en fonction du débit maximum journalier (voir annexes).
- Enfin, des petits travaux de planage seront nécessaires du côté sud ouest de la plaine pour faciliter la vidange rapide en cas d'inondation inattendue (forte averse).

VI. CONCLUSIONS

En définitif, les problèmes auxquelles la plaine de Tombola est confrontée peuvent se résumer à des contraintes liées aux conditions de remplissage et de vidange, la protection de la plaine contre les inondations extérieures, la gestion du calendrier cultural et le suivi des ouvrages hydrauliques.

Les résultats de la présente étude constituent une des solutions de réhabilitation qui certes n'ont pas bénéficiés de beaucoup d'informations qu'ils auraient eues, néanmoins ils ont été obtenus sur la base des techniques et méthodes empiriques utilisées en ingénierie. La digue de protection qui au départ devrait être calée contre la crue centennale, a été plutôt calée à la cote 368m en vue de maîtriser le plan d'eau dans la plaine et de la protéger contre les inondations récurrentes (voir V). Elle sera rechargée selon les techniques d'ingénieries adéquates qui n'ont pas été développées dans ce mémoire et en fonction de la disponibilité des matériaux de construction. Le calendrier cultural (voir annexe VII) a été établi en fonction de la

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

disponibilité de l'eau, des besoins en eau de la plaine et du programme habituel des exploitants, soit une période de remplissage de un mois et 9 jours (29 Août-06 octobre). Le débit maximum journalier à transiter pour le remplissage de la plaine est de 3.52 m³/s. Après vérification les ouvrages d'admissions et de vidanges permettent de faire passer jusqu'à un débit de 8.24 m³/s. Pour le suivi des activités (remplissage/vidange) des échelles graduées seront installées au niveau de chaque ouvrage et les partiteurs seront tous équipés de batardeaux métalliques.

La plus grande difficulté rencontrée au cours de cette étude fut l'absence des supports d'étude antérieurs, des fiches techniques sur les ouvrages dans le temps, des relevés sur le cours d'eau (kokoyon) et au niveau des ouvrage (admission/vidange). Il faut noter que selon notre humble avis, l'idéal serait de passer de la submersion contrôlée à un système plus efficient sous les conditions de maîtrise totale. Ceci permettra une amélioration conséquente des conditions d'exploitation de la plaine (adoption des spéculations à haute valeur ajoutée), un meilleur rendement des productions et éventuellement des cultures de contre saison. En soutien à cette conclusion, des années à rendement aléatoire au point que les exploitants préfèrent se donner à l'orpaillage devenu plus rentable plutôt que l'agriculture. A long terme cela peut menacer l'autosuffisance alimentaire dans la zone contrairement aux objectifs recherchés par la présente étude.

« OUI PLUS DE TERRE A MOINDRE COUT ! POURQUOI PAS PLUS DE PRODUCTION ET PLUS DE BENEFICE AVEC MOINS DE GASPILLAGE D'EAU ! ».

VII. RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES

- **En ce qui concerne la gestion hydraulique des aménagements :**

Le renforcement de la capacité d'intervention du comité des gestions (par des séances de formation et d'encadrement) sera un atout considérable dans la gestion de la plaine en générale. Le respect du calendrier cultural ainsi que le programme de remplissage et de vidange reste ouvert à une légère modification compte tenu du caractère aléatoire de la pluviométrie dont dépend le principe d'irrigation de la plaine. Il est recommandé de respecter les doses journalières sauf en cas de forte adverse ou de forte chaleur nécessitant en conséquence une légère augmentation ou une légère diminution. L'irrigant doit être capable de lire si non d'apprécier par jour le niveau du plan d'eau sur les échelles graduée de 5cm et de 3cm placé au niveau de la plaine. La période de vidange coïncide avec l'abaissement du niveau de l'eau il est possible de vidanger la plaine à travers l'ouvrage d'admission tout en

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

effectuant aussi celui de la retenue.

- **En ce qui concerne la mise en valeur agricole et les performances agronomiques**

La rareté des ressources disponible, conjuguée au changement climatique et la dégradation des terres (érosion, salinisation due à la submersion etc.) impose des nouvelles orientations dans le choix des schémas d'irrigation.

La zone de la plaine de tombola présente un potentiel de terre aménageable d'environ 1000 hectares. Avec la promotion d'un régime foncier favorisant le développement de l'irrigation dans la région et adoption des systèmes d'irrigation plus efficaces (maîtrise totale, sous pression etc.) il est possible d'augmenter la superficie des terres aménagées dans la zone.

Nous recommandons une démarche participative et progressive dans les études afin d'avoir des résultats meilleurs et de mieux intégrer les bénéficiaires et par conséquent de répondre mieux à leurs attentes.

Un effort doit être fait pour l'appui en intrants au profil des exploitants.

- **En ce qui concerne les coûts des aménagements**

Les estimations des coûts faites dans ce mémoire est d'ordre estimatif. Une étude plus conséquente saura mieux indiquée les coûts des travaux à réalisés.

Bien que le coût d'un tel aménagement est assez faible par rapport à celui d'un système à maîtrise totale, nous estimons qu'il est plus bénéfique pour les acteurs du secteur d'adopter ce dernier. Il faut rappeler que ce changement est l'une des attentes des exploitants du village de Tombola (constater lors notre visite à Tombola).

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nouga, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

VIII. BIBLIOGRAPHIE

- C.CASTELLANET. (1992). *L'Irrigation Villageoise*. Paris: le point sur les technologies.
- CEMAGREF. (2002). *Petits Barrages*.
- CSA. (2007). *Plan de Sécurité Alimentaire de la commune rurale de NOUGA 2008-2012*. Mali.
- DGR. (2005). *Rapport du Consultation Sectorielle sur le Développement rural et l'Agriculture irriguée au Mali THÈME 2*. BAMAKO - Mali.
- DTC/EPS, G. d. (2000). *Prospective de l'agriculture irriguée en Afrique Subsaharienne Stratégie de coopération pour une pérennisation des grands périmètres irrigués*.
- ESAD-MALI. (2000). *Avant Projet Détaillé des ouvrages d'admission d'eau et de la connection des plaines de Djoulafoundou et de Tombola* . MALI.
- FAO. (1994). *Crués et apports*.
- GNGR-Mali. (1990). *Normes de conception des périmètres irrigués en VI et VII région*.
- GRET-CIRAD. (2002). *Mémento de l'agronome*. FRANCE.
- H.KARAMBIRI-D.NIANG. (2009). *Cour d'hydrologie Analyse fréquentielle. 2IE* . Ouagadougou, Burkina Fasso.
- H.VORON. (février 2009). *Réhabilitation d'ouvrages existants*. Ouagadougou.
- ORSTOM. (1986). *Monographie hydrologique du Fleuve Niger, Tome I niger supérieur*. Paris: ORSTOM.
- PNUD-Mali. (1990). *Synthèse Hydrogéologique du Mali*.

Sites internet

www.google.com

<http://www.zonums.com/online/kml2shp.php>

<http://hybridgeotools.com/html/downloads.html>

www.safe.com

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

IX ANNEXES

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

LISTE DES ANNEXES

IX Annexes.....	34
ANNEXE I : CONTRAINTES AGRONOMIQUES-VARIETES	36
ANNEXE II : ETUDE DU BASSIN VERSANT	37
ANNEXE III : ETUDES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES	39
ANNEXE IV : ETUDES DES CRUES	43
ANNEXE V : ETUDE DES APPORTS	47
ANNEXE VI : ANALYSES DES BESOINS EN EAU	49
ANNEXE VII : ETUDE DES INFRASTRUCTURES	54
ANNEXE VIII : CALENDRIER CULTURAL	58
ANNEXE IX : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF	59
ANNEXE X : PLAN TOPOGRAPHIQUE DE LA PLAINE DE TOMBOLA	60

ANNEXE I : CONTRAINTES AGRONOMIQUES-VARIETES

- **Riz dressé (pluvial pur) : 95 – 120 jours**
 - lame d'eau maximale admise : 50 – 60 cm
 - Vitesse moyenne de montée de l'eau : 3 cm/j.

Tableau XIII : Caractéristiques du riz dressé

Stade	Durée (J)	Cumul (J)	Observation
Semis et levé	10	10	-
Tallage	20	30	Admet jusqu'à 30 cm d'eau
Montaison	15	45	-
Initiation paniculaire	15	60	Phase critique
Floraison - épiaison	20	80	Phase critique
Remplissage du grain	15	95	Très critique
Maturation	10	105	45 jours après début ... Retrait de l'eau en début de maturation

- **Riz flottant : 110 – 165 jours**
 - lame d'eau jusqu'à 145 cm
 - Vitesse moyenne de montée des eaux : 5cm/j.

Tableau XIV : Caractéristiques du riz flottant

Stade	Durée (j)	Cumul (j)	Observation
Semis et levé	10	10	-
Tallage	40	50	Admet entre 30 et 60 cm d'eau
Montaison	25	75	-
Initiation paniculaire	25	100	Phase critique
Floraison – épiaison	30	130	Phase critique
Remplissage du grain	15	145	Très critique
Maturation	15	160	Retrait de l'eau

Dans le souci d'améliorer la production locale, nous proposons les variétés améliorées ci-dessous.

Tableau XV : Proposition des variétés améliorées à adapter

Variétés	Lame d'eau (cm)	Le cycle (jour)	Dates semis	Rendement moyen (t/ha)
BG 90 –2	0 à 50	130	Début juin	5
Gambiaka	50 à 100	120 à 145	Mi – juin	4

ANNEXE II : ETUDE DU BASSIN VERSANT

1.1 Caractéristiques hydromorphologiques du bassin-versant

- **La superficie du bassin-versant (S)**

Le bassin versant de la zone concernée par le présent projet a été identifié et délimité sous ArcGis V9.3 à partir des MNT (SRMT3) sous Google Earth. Sa superficie a été obtenue à l'aide de l'outil statistique dans ArcGis puis vérifiée à l'aide du logiciel GePath ainsi que l'Auto Cad. On obtient :

$$S = 164 \text{ km}^2$$

- **Le périmètre du bassin-versant (P)**

Il a également été obtenu à l'aide des mêmes logiciels utilisés pour la détermination de la surface, elle vaut :

$$P = 67 \text{ km}$$

- **L'indice de compacité de GRAVELIUS**

Il est la valeur qui permet de caractériser la forme du bassin versant.

$$I_c = (0,28 P) / S^{1/2} = (0,28*66,80)/(164,32^{1/2}) = 1,46$$

La valeur de I_c proche de 1 traduit la forme ramassée du bassin-versant, c'est un bassin compact. Ce type de bassin-versant connaît généralement des crues brutales dues au faible temps de concentration.

- **La longueur (L) du rectangle équivalent**

C'est une notion qui permet de comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques (compacité, distribution hypsométrique...) sur l'écoulement.

L : la longueur I : la largeur du rectangle P : le périmètre S : l'aire du bassin versant.

$$L = [P + (P^2 - 16.S)^{1/2}] / 4 = [66,8 + (66,8^2 - (16*164,32))^{1/2}] / 4 = 27,40 \text{ km}$$

- **L'indice global de pente**

Le tracé de la courbe hypsométrique donne les lectures suivantes:

$H_{5\%}$: altitude au-dessus de laquelle sont situées 5 % de la superficie du bassin-versant (402 m)

$H_{95\%}$: altitude au-dessus de laquelle sont situées 95 % de la superficie du bassin-versant (363 m)

L: longueur du rectangle équivalent (km)

$$I_g = (H_{5\%} - H_{95\%}) / L = (402 - 358) / 27,40 = 1,42 \text{ m/km}$$

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

- **Indice global de pente corrigé (I_{gcor}):**

Si les pentes transversales sont peu différentes de I_g (différence de moins de 20%), ce dernier représente assez bien la pente du BV. Dans le cas contraire, on calcule un indice de pente globale corrigée notée I_{gcor}. Les paramètres conduisant à son calcul sont récapitulés ci-dessous :

La pente transversale moyenne du bassin-versant est IT = 1,8 % soit 18 m/km

n =	2	pour L < 5 km	
	3	5 km < L < 25 km	Nous avons L = 22,30 km d'où n=3
	4	25 km < L < 50 km	
	5	50 km < L	

Avec L longueur du cours d'eau principal

IT : pente transversale moyenne du bassin-versant

$$I_{gcor} = [(n-1) * I_g + IT] / n = [(3-1)*1.42+18]/3 = 6.95m/km$$

NB : Ces valeurs assez élevées de l'indice de pente global (**I_g**) et de l'indice de pente global corrigé (**I_{gcor}**) traduisent le relief sensiblement accidenté du bassin-versant ce qui a une incidence sur l'écoulement (crue et apports). Il faut rappeler que le relief de la zone concernée par le présent projet est accidenté à cause de l'existence des derniers contreforts des monts mandingues (collines, plateaux, plaines).

- **Densité de drainage (D_d):**

Il est calculé en fonction de la superficie du BV et la longueur totale des cours d'eau de tout ordre du bassin, avec L_{ce} = 75.05 km.

$$D_d = L_{ce} / S = 75.05/164 = 0.48 \text{ km}^{-1}$$

Cette valeur de l'indice de drainage permet de confirmer la densité moyenne du réseau hydrographique du BV.

- **Dénivelé spécifique (D_s)**

Il permet de déterminer la classe du relief du BV si :

Relief faible	D _s < 50 m
Relief modéré	50 m < D _s < 100 m
Relief fort	100 m < D _s

$$D_s = I_g \cdot S^{1/2} = 1.42 * 164^{1/2} = 18.18 \text{ m} < 50\text{m}, \text{ Relief faible}$$

ANNEXE III : ETUDES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES

2.1 Traitement de données climatiques - Pluviométries

Il concerne les données pluviométriques du poste pluviométrique de Kangaba de la période 1970-2010 soit 40 ans. Elles ont été traitées à l'aide des logiciels HYDROLAB et vérifiées à l'aide d'un tableur d'Excel. L'échantillon traité est représenté sur les figures suivantes :

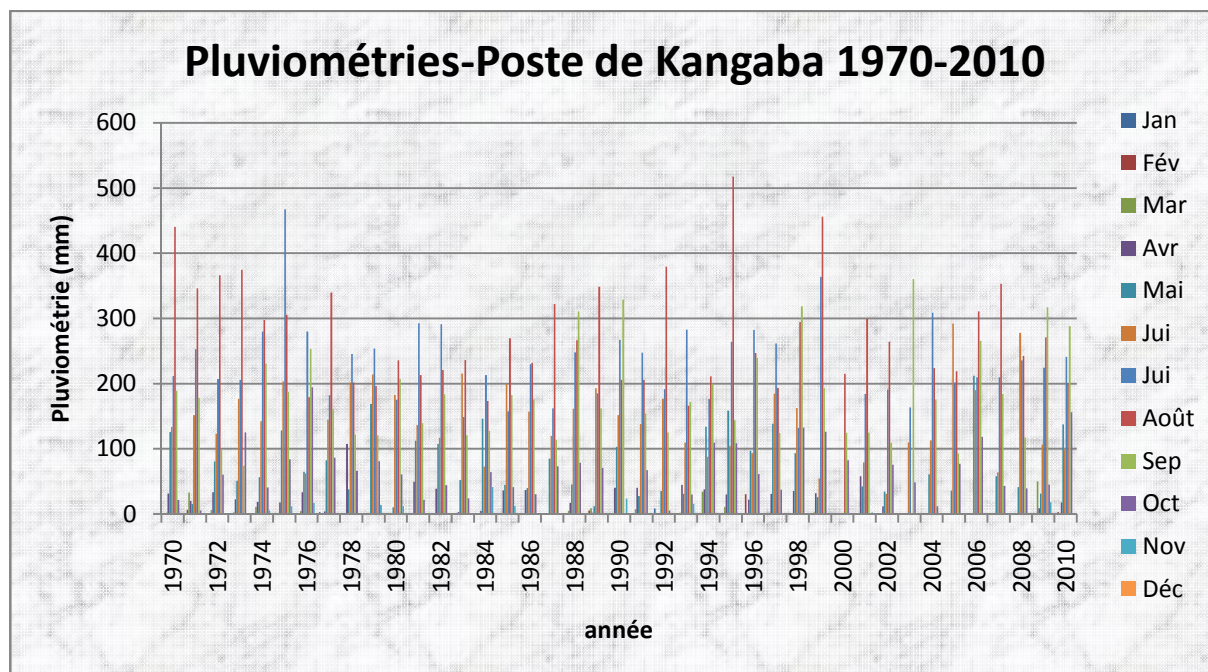


Figure 8: Pluviométriques mensuelles du poste de Kangaba (source DNM)

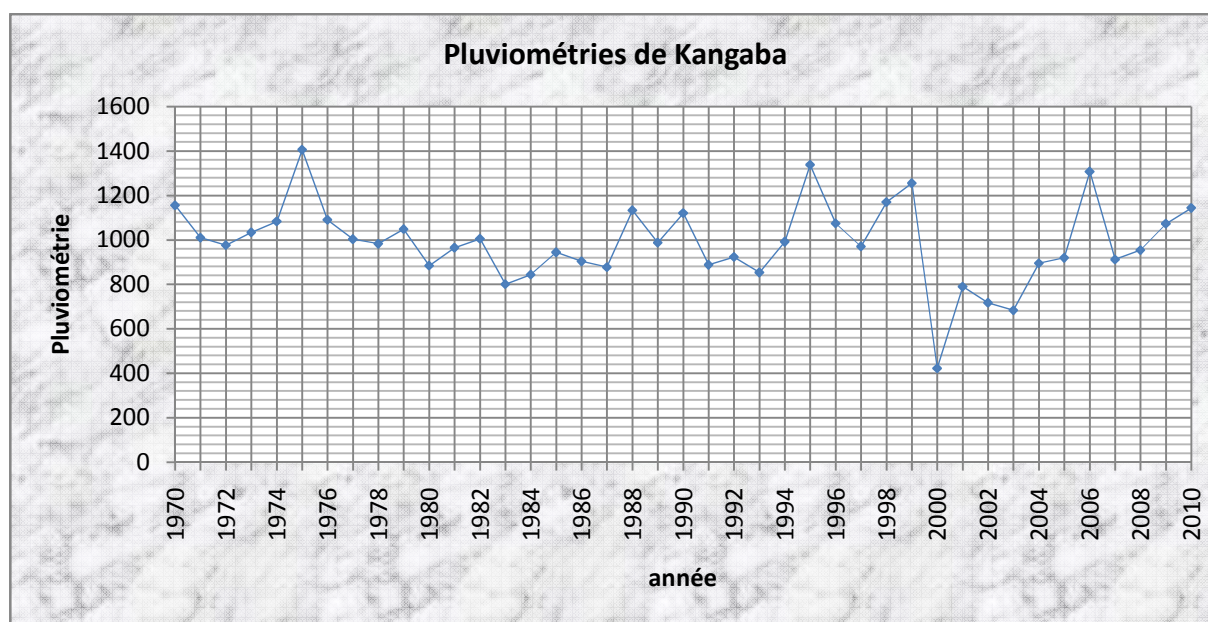


Figure 9: Pluviométriques annuelles de Kangaba

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

- **Analyse de la pluviométrie annuelles – Présentation de l'échantillon**

Tableau XVI : Paramètre de description de l'échantillon

Désignations	Valeurs	Unités
moyenne	988	mm
écart-type	180	mm
coefficient de variation	18	%
pluie mini	422,1	mm
pluie maxi	1405,3	mm

- **Histogrammes des fréquences empiriques de l'échantillon**

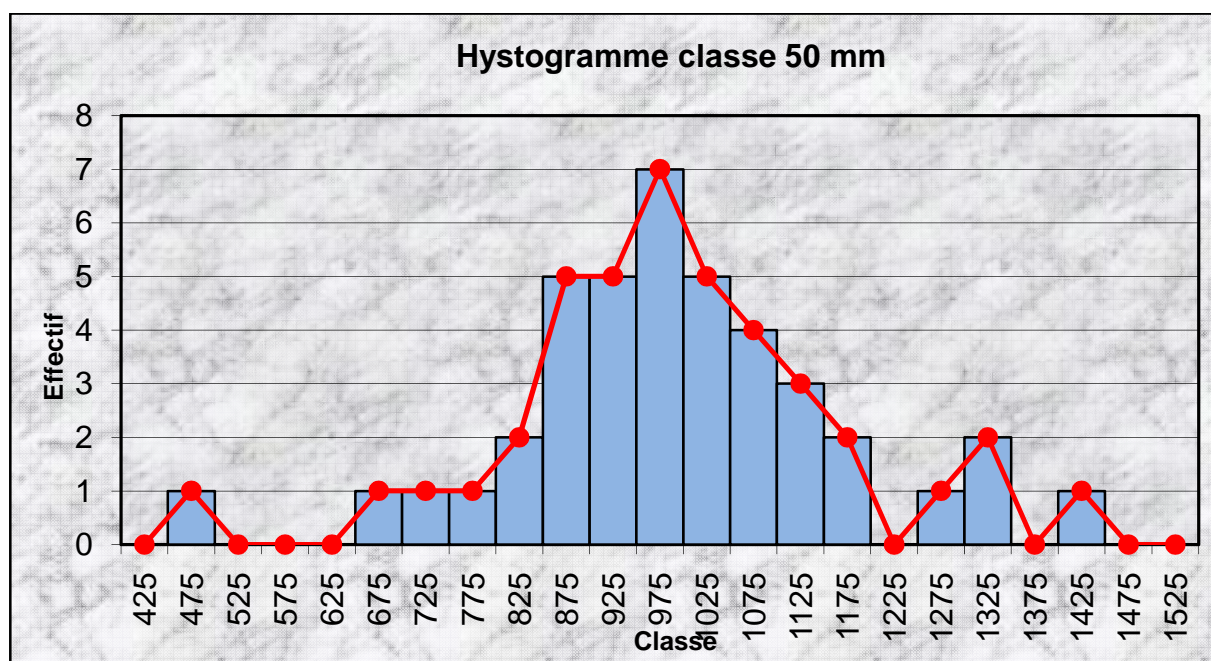


Figure 10 : Histogramme classe 50 mm

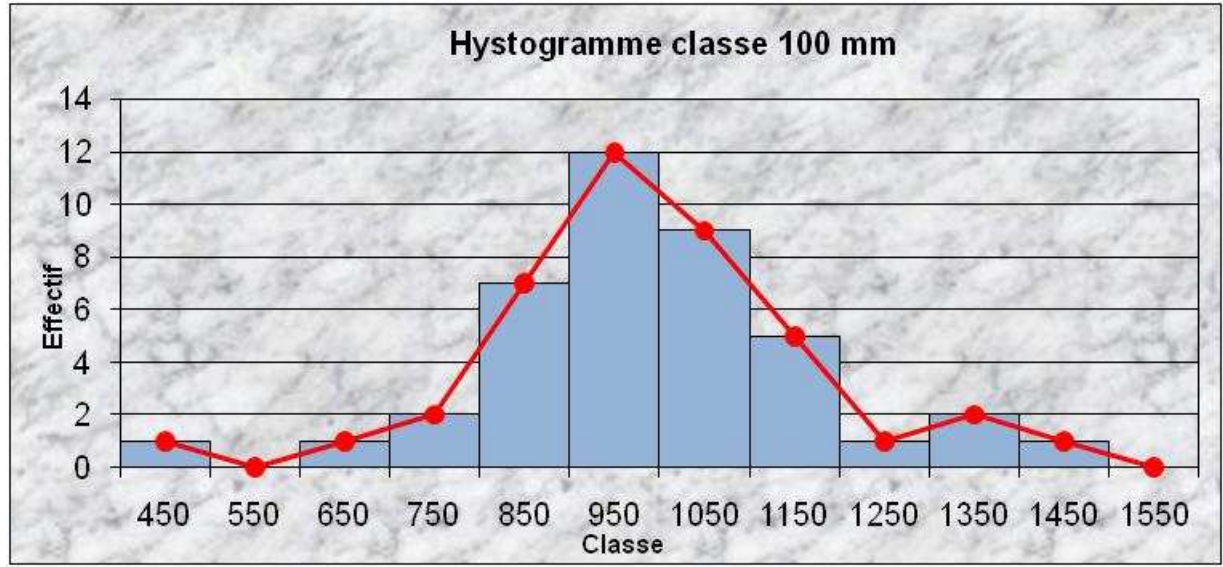


Figure 11 : Histogramme classe 100 mm

Les histogrammes constitués de classe de 50 mm de classe de 100 mm ont respectivement la valeur la plus probable comprise entre 950-1000 mm et entre 900-1000 mm.

La fonction expérimentale utilisée est celle de Hazen : $F^*(xi)=(i-0.5)/n$. On peut donc proposer un mode approximative à 975 mm.

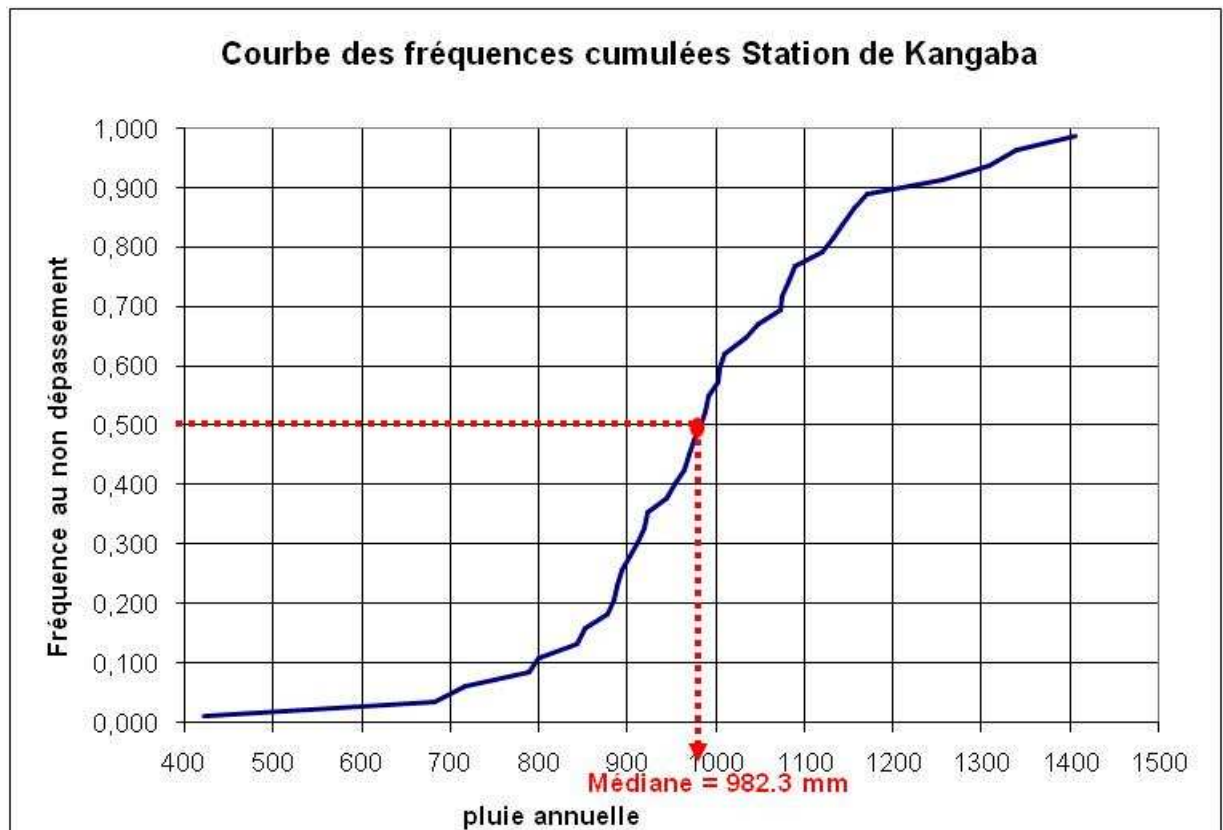


Figure 12: Courbe expérimentale $F(x_i)$

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

On obtien une médiane de 982.3 mm.

Les valeurs : moyenne = 988mm, mode=975mm, médiane=982.3mm étant peu différentes, on peut supposer que la distribution est normale ou gaussienne

on se propose maintenant d'ajuste une loi normale (loi de GAUSS) sur l'échantillon.

- **Ajustement à la loi Normal (Gauss)**

Cette note de calcul concerne l'ajustement (numérique) par le calcul d'une droite sur les points. Pour cela, nous avons utilisé la moyenne (988mm) et l'écart-type (180mm) de notre échantillon, puis calculé les coordonnées de deux points assez éloignés ($F = 0.05$ et $F = 0.95$).

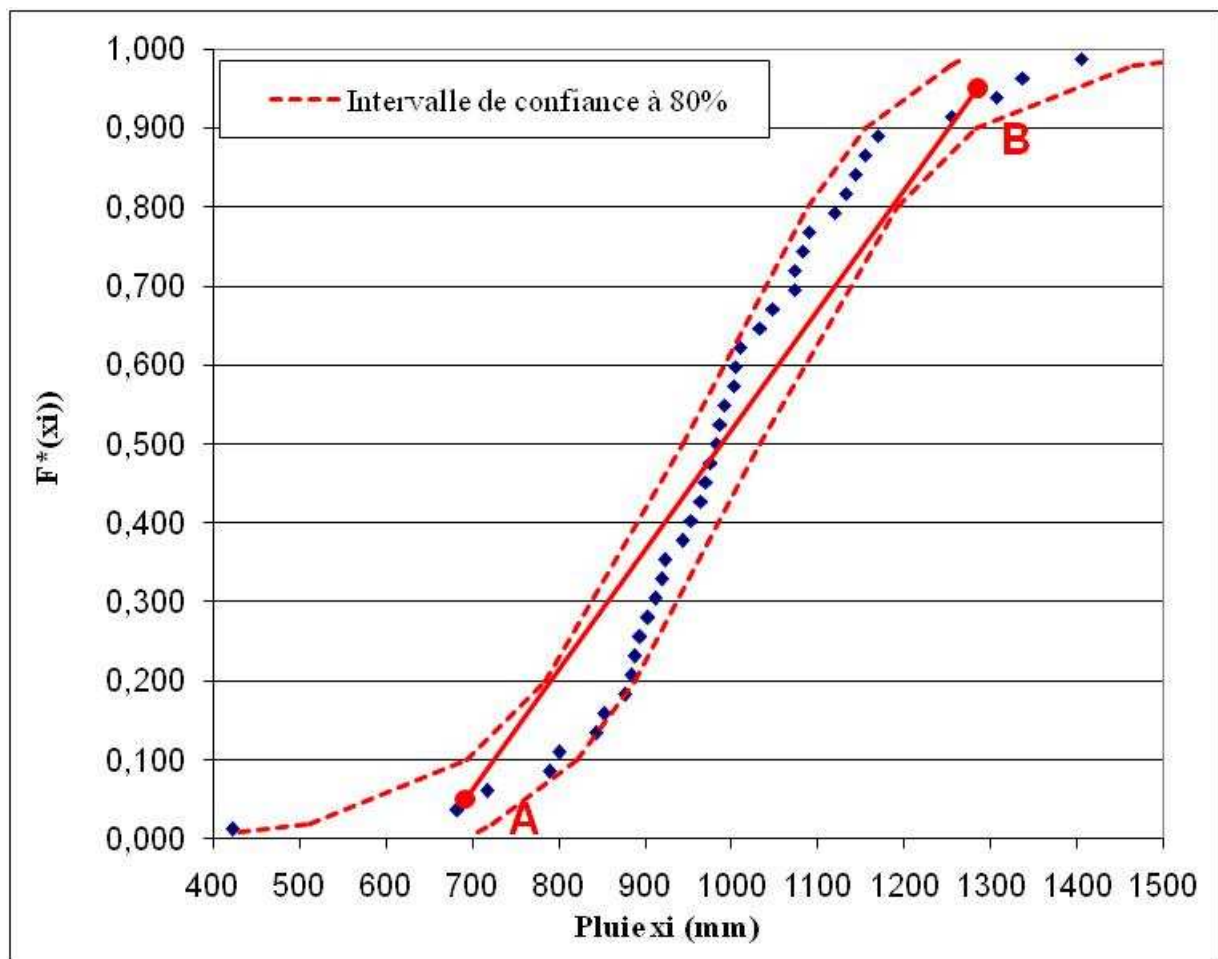


Figure 13: Présentation de $F(X_i)$ (intervalle de confiance)

NB : On constate sur ce graphique que plus de 80 % des valeurs de l'échantillon se trouve à l'intérieur de l'intervalle de confiance tracé. Seuls 2 points se trouvent en dehors de l'intervalle, la loi utilisée est donc validée.

ANNEXE IV : ETUDES DES CRUES

Cette partie de l'étude consiste à déterminer les crues de projets contre lesquelles, on doit protéger l'ouvrage par son dimensionnement. Ceci amène à accepter un certain risque que l'on s'efforcera de minimiser en tenant compte des conditions locales. Choisir la valeur de débits des crues contre laquelle on veut protéger l'ouvrage, c'est choisir la probabilité de retour de ces crues.

En s'appuyant sur des études déjà menées dans ce sens par des spécialistes, deux méthodes sont les plus utilisées dans la Zone :

- la méthode CIEH (dite de PUECH et CHABI-GONNI) ;
- la Méthode ORSTOM.

Pour la présente étude, on se limitera à l'estimation de la crue de projet par la méthode ORSTOM révisée.

Méthode ORSTOM

Le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation:

$$Q_{r10} = A.P_{10}.K_{r10}.\alpha_{10}.S / T_b$$

Les différents paramètres sont définis comme suit:

A: coefficient d'abattement

P₁₀: hauteur de pluie maximale en 24 heures de fréquence décennale.

Cette dernière a été déterminée par interpolation linéaire connaissant la latitude et la longitude du BV à partir des cartes d'isohyètes (figure 4, Fao 2006) et elle vaut, P₁₀ = 120 mm

S: superficie du bassin-versant (m²)

K_{r10}: coefficient de ruissellement décennal

α₁₀: coefficient de pointe

T_b: temps de base

L'estimation de ces différents paramètres se fait à l'aide d'abaques ou de formules empiriques comme indiqué ci-dessous.

• Le coefficient d'abattement A:

Le coefficient d'abattement est donné par la formule de G. VUILLAUME

r : période de retour de la pluie (10 ans)

P_{an}: pluie moyenne annuelle (988.37 mm)

S : superficie du bassin-versant (164 km²)

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

$$A = 1 - 0,001 * [9 \cdot \log(r) - 0,042 \cdot \text{Pan} + 152] * \log(S)$$

$$= 1 - [(161 - 0,042 * 988,37) * \log(164/1000)]$$

$$A = 0,74$$

• **Estimation de la précipitation décennale moyenne sur le bassin versant :**

$$P_{m10} = A * P_{10} = 0,120 \times 0,74$$

$$P_{m10} = 88,8 \text{ mm}$$

• **Infiltrabilité des sols du bassin-versant**

L'estimation de la crue décennale par la méthode ORSTOM passe par la classification du BV selon la perméabilité (infiltrabilité) de son sol. Aussi, en tenant compte de la constitution géologique de notre BV et de l'importance de son couvert végétal, il peut être classé en classe **RI** qui se définit comme étant la classe des bassins relativement imperméables composés d'un mélange en proportions à peu près égales de sols imperméables et de sols perméables.

• **Le coefficient de ruissellement décennal Kr**

La formule générale est $Kr = a / (S+b) + c$

Les paramètres a, b et c sont donnés en fonction de la région (tropicale ou sahélienne) et en tenant compte de la superficie, (S = 164 km²) et de l'indice de pente corrigé (I_{gcor} = 6,95 m/km) on obtient les valeurs suivantes:

Tableau XVII ; Valeur du coefficient de ruissellement Kr

Pour P10	70 mm						
	pour une infiltrabilité	RI		et Ig ou I _{gcor}		7 m/km	borne sup
a	200	b	20	c	18,5		
	Kr10.1 =	19,59%	% à partir de la formule				
	pour une infiltrabilité	RI		et Ig ou I _{gcor}		3 m/km	borne inf
a	150	b	20	c	15		
	Kr10.2 =	15,82%	% à partir de la formule				
	pour une infiltrabilité	RI		et Ig ou I _{gcor} calculé		6,95 m/km	valeur recherchée
	Kr10.3 =	19,54%	% par interpolation				
Pour P10	100 mm						
	pour une infiltrabilité	RI		et Ig ou I _{gcor}		7 m/km	
a	340	b	30	c	22		
	Kr10.1 =	23,75%	% à partir de la formule				
	pour une infiltrabilité	RI		et Ig / I _{gcor}		3 m/km	
a	200	b	30	c	17		
	Kr10.2 =	18,03%	% à partir de la formule				
	pour une infiltrabilité	RI		et Ig / I _{gcor} calculé		6,95 m/km	
	Kr10.3 =	23,68%	% par interpolation				
Par interpolation linéaire, on trouve donc pour P10					120 mm		
	Kr10 =	26,44%	% à partir de la formule				
							ENTREE
							RESULTAT CALCULE
							RESULTAT FINAL

Ce qui donne un volume de ruissellement de la crue décennale

• **Lame d'eau ruisselée décennale**

$$Lr_{10} = P_{m10} \cdot Kr_{10} = (88,8 \times 26,44) / 100$$

$$Lr_{10} = 23,47 \text{ mm}$$

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

- **Le temps de base (Tb):**

La formule générale est : $Tb = a.S^n + b$

Temps de base pour Ig ou Igc_{or} =	7	m/km
Tb _{10,1} =	1164,18944	mn à partir de la formule
Temps de base pour Ig ou Igc_{or} =	3	m/km
Tb _{10,2} =	2353,10778	mn à partir de la formule
Temps de base pour Ig ou Igc_{or} calculé =	6,92	m/km
Tb₁₀ =	1 187,97	mn par interpolation

On obtient **Tb = 1187.97 mn** soit environ **19,8 heures**

On aura **T_m** (temps de monté) = **0,33 Tb₁₀ = 392.03 mn** soit environ **6,22 heures**

- **Volume d'eau ruisselé décennale**

$$V_{r10} = 10^3 \cdot L_{r10} \cdot S = 10^3 \times 23.47 \times 164$$

$$V_{r10} = 3\ 850\ 785.03 \quad m^3$$

- **Débit moyen ruisselé décennale**

$$Q_{mr10} = V_{r10} / (Tb_{10} \cdot 60)$$

$$Q_{mr10} = 54,02 \quad m^3/s$$

- **Débit maximum de ruissellement**

$$Q_{r10} = \alpha_{10} \cdot Q_{mr10} \quad \text{Avec } \alpha_{10} = 2,6$$

$$Q_{r10} = 140,46 \quad m^3/s$$

- **Débit de pointe décennale**

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

En zone tropicale sèche, on a :

Pour les grands bassins imperméables I / RI (quelques centaines de km²)

$$Q_{10} = (1,10 \text{ à } 1,15) \cdot Q_{r10}$$

En prenant la moyenne on a :

$$Q_{10} = 1,125 \cdot Q_{r10}$$

$$Q_{10} = 158.02 \quad m^3/s$$

- **Volume de la crue décennale**

$$V_{c10} = V_{r10} + Q_{ret10} \cdot Tb_{10}$$

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

Pour les grands bassins imperméables I / RI (quelques centaines de km²)

$$Q_{ret10} = (0,10 \text{ à } 0,15) \cdot Q_{r10}$$

En prenant la moyenne on a $Q_{ret10} = 0,125 \cdot Q_{r10}$

$$V_{c10} = 3\,871\,643,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Estimation de la crue centennale**

La crue centennale peut être estimée à partir de la crue décennale par la relation suivante:

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

Avec $C = 1 + [(P_{100}-P_{10})/P_{10}] \times [(Tb/24)^{0,12}/Kr_{10}]$ soit $C = 1.2$

D'où

$$Q_{100} = 189.63 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Estimation de la crue projet**

Compte tenu des caractéristiques et des infrastructures en aval, la crue de projet ne peut être la crue centennale. Aussi, ne disposant pas de fiche technique du barrage ni aucun document de référence, nous avons retenu cette valeur de la crue centennale pour vérifier la capacité de vidange de l'ouvrage. Actuellement avec quatre (4) passes ou ouvertures d'environ deux (2) mètres de large nous pensons que ces dispositifs suffisent pour évacuer ce débit des ouvrages hydrauliques notamment le nombre d'ouvertures. De nos jours aucun problème majeur n'a été enregistré selon le témoignage de certains villageois à mémoire d'homme. Toute fois il serait avantageux de procéder à un diagnostique plus poussé sur l'ouvrage (barrage) afin de s'assurer de sa stabilité propre ainsi celle son l'assise.

$$Q_{projet} = 189.63 \text{ m}^3/\text{s}$$

ANNEXE V : ETUDE DES APPORTS

4.1 Apports liquides

La méthode Rodier consiste à associer le bassin étudié à un bassin type. La clé ci –après a permis de sélectionner le bassin type le plus représentatif :

- Pluviométrie de **988.37 mm** nous situe en région tropicale ;
- Superficie du bassin versant $S_{bv} = 164 \text{ km}^2$ correspondant à la classe 2 ;
- Sols argilo limoneux, relativement imperméables assis sur du Grès en profondeur ;

Le bassin versant du Kokoyon, avec un relief faible ($D_s=18.18 \text{ m}$) et de caractéristiques ci-dessus peut être apparenté au bassin type de Barraro proche du bassin de Djitiko.

D'après les courbes de distribution de Rodier Auvrey, notre bassin se positionne sur la courbe de distribution de Barraro (figure 52, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 54).

NB : Les lames d'eau écoulées sont lues sur la courbe de distribution reconstituée. Les coefficients d'écoulement (K_e) sont calculés en faisant le rapport entre la lame d'eau écoulée et la précipitation enregistrée.

$$K_e = \text{lame d'eau} / \text{précipitation} [\%]$$

Le volume d'eau écoulé est le produit de la lame d'eau par la superficie du bassin-versant

$$V_e = \text{lame d'eau} \times \text{superficies BV}$$

Les estimations des apports liquides dans la retenue projetée sont récapitulées dans le (Tableau V)

4.2 Apports solides

• Méthode CIEH-EIER

L'eau qui ruisselle sur les bassins versants entraîne avec elle des matériaux solides qu'elle arrache tout au long de son parcours. Ces matériaux se déposent dès que la vitesse de l'eau devient faible, ce qui est le cas lorsque les eaux de ruissellement aboutissent à une retenue. Les mécanismes érosion –transport- sédimentation sont complexes et dépendent d'un certain nombre de paramètres:

- les caractéristiques physiques du bassin versant (superficie, relief, forme, etc.) ;
- la nature du réseau hydrographique ;
- la pluviométrie et le climat ;
- le couvert végétal ;

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

- la grandeur associée à ces dépôts solides est la dégradation spécifique (D) le plus souvent en $m^3/km^2/an$.

Il existe un certain nombre de formule pour la dégager parmi lesquelles :

- la formule de GOTTSCHALK, établie à partir des observations sur soixante –six bassins d 'Amérique

$$D=260.S^{-0.1}$$

Où s= superficie du bassin versant en km^2 et D la dégradation spécifique en $m^3/km^2/an$

- la formule du CIEH-EIER (GRESILLON), établie à partir des mesures de l'envasement de trois réserves au Burkina Faso)

$$D= 700x(Pan/500)^{-2.2}x S^{-0.1}$$

Où S= superficie du bassin versant en km^2 et P= pluviométrie moyenne annuelle en mm

Toutefois il est important de préciser que ces formules permettent une estimation et que la dégradation réelle peut être relativement éloignée du résultat donné par ces formules selon le type de sol, la mise en culture, la variation du coefficient de ruissellement moyen annuel et de l'intensité de la pluie et de son énergie.

Le tableau ci-dessous indique les valeurs calculées par les deux formules pour une année

Tableau XVIII: Apports solides

Dégradation annuelle (m3)	
GOTTSCHALK	CIEH-EIER
432.97	96.87

Soit un apport moyen de $261.42 m^3/km^2/an$ et un volume solide $V_s= 43 201m^3/an$.

ANNEXE VI : ANALYSES DES BESOINS EN EAU

5.1 Capacité de stockage de la cuvette du marigot

Les valeurs récapitulées dans le tableau ci-dessous ont été déterminées à partir du calcul des surfaces des courbes de niveau par rapport à l'axe identifié des différents cours d'eau à l'aide d'Arcview sur la base des MNT sur Google Earth couplé du logiciel Gepath. Elles ont permis de tracer les courbes hauteurs surfaces et hauteurs volumes sous Excel 2007.

Tableau XIX : Calcul de la surface inondable en fonction des altitudes

Altitude	Surface en (ha)	Surface (m ²)	Surface moyenne	Volume Partiel	Volume cumulée (m ³)
360	0	0	0	0	0
365	20	200 000	100 000	500 000	500 000
370	35	350 000	275 000	1 375 000	1 875 000
375	80	800 000	575 000	2 875 000	4 750 000
380	120	1 200 000	1 000 000	5 000 000	9 750 000
400	175	1 750 000	1 475 000	29 500 000	39 250 000

Remarque : Cette étape a été particulièrement difficile à cause de l'indisponibilité des fonds cartographiques ou image satellitaire. Pour des besoins d'estimations nous nous sommes référés encore une fois à la base de données Google Earth disponible en ligne. Après avoir retracer les différents cours d'eaux présentes dans notre bassin versant, une série de profil en long et en travers a été établi pour en extraire les cotes puis superposés avec les courbes de niveau à l'aide du logiciel 3DRB et Arcview.

Les courbes hauteurs-volumes et hauteurs-surfaces sont placés dans le mémoire technique en chapitre V.

La contrainte ici est la disponibilité de l'eau par rapport à la superficie aménageable. Sur la base de la topographie de la zone, il est possible de caler le plan d'eau normale maximale à la cote **372 m** sans causer d'inondation au niveau du village. Afin de déterminer la superficie aménageable sous l'influence de la retenue des eaux du marigot, nous avons utilisé une méthode graphique illustrée sur la figure suivante (source : F.A MILLOGO, Ouvrages Hydrauliques, 1990).

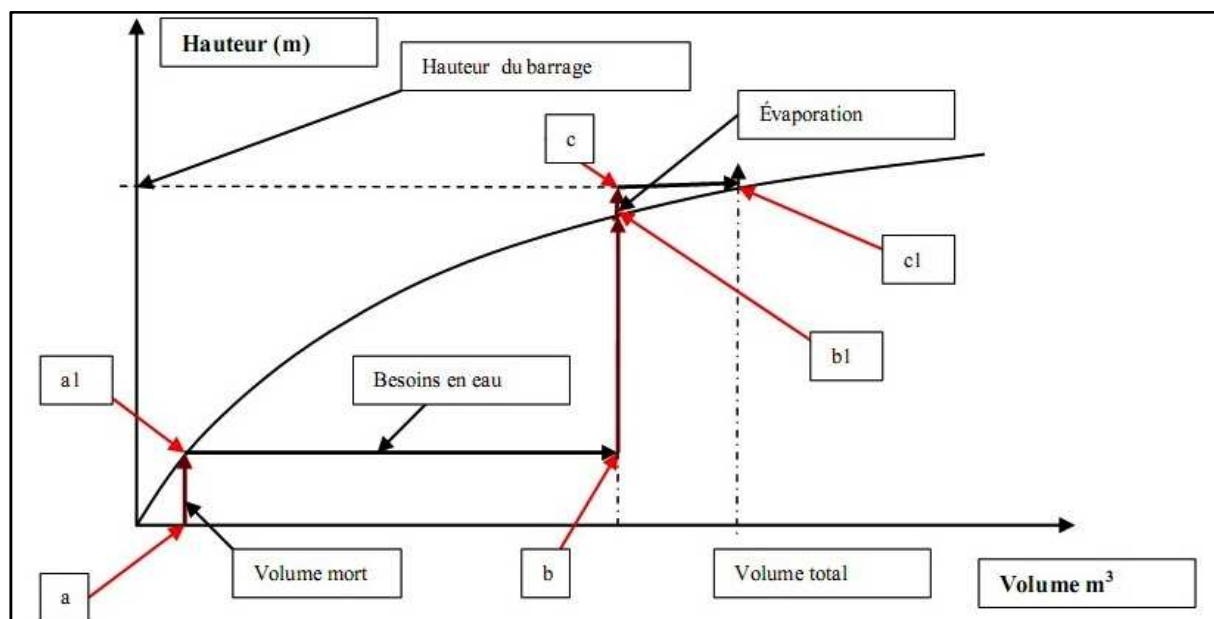


Figure 14 : Schéma de la détermination de la hauteur du barrage

Après application on obtient une cote du plan d'eau maximale de 372.5 m (voir mémoire figure 8). Cependant compte tenu des contraintes de remplissage le volume pouvant être transporté vers la plaine est la quantité d'eau située au-dessus de la cote 367 m (cote maximale de la plaine).

5.2 Détermination de la superficie aménageable sous l'influence des eaux du Kokoyon

La détermination de cette superficie passe par celle des besoins en eau. Elle consiste à l'analyse de la consommation d'eau au niveau de la plaine et de la disponibilité en eau au niveau de la retenue.

- ✓ **Pour la plaine** : Elle concerne la quantité d'eau servant au remplissage de la plaine en respectant les contraintes agronomiques définies (**voir mémoire technique 3.1.1**), à savoir 5cm/j et 3cm/j comme vitesse de remplissage selon les variétés, et celle pour la compensation des pertes (**ETP-P+I**) au niveau de la plaine. Ajouter à cela les pertes de charges durant le transport et au niveau des ouvrages d'admissions.
- ✓ **Pour la retenue** : Elle est estimée à **1 500 000 m³** (capacité de stockage). Pour que cette retenue se remplisse, il faut que ce volume soit inférieur ou égal aux apports.

En tenant compte de tous ces facteurs ci-dessus, il s'agira de simuler l'exploitation de la retenue afin de déterminer les conditions de remplissage et par conséquent la superficie susceptible d'être irriguée sous son influence.

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

Sachant que le marigot n'est pas pérenne la date de remplissage doit être choisie en conséquence de sorte qu'elle coïncide avec l'atteinte du plan d'eau maximale dans la retenue. Il faudra aussi tenir compte de l'évolution des besoins en eau du riz afin de lui apporter de l'eau lorsque l'apport de la pluie est largement déficitaire. Ceci permettra de se faire une idée de la quantité d'eau disponible à une date donnée et de voir si cette quantité suffise pour les besoins de la même date et ainsi de suite.

Les calculs des besoins en eau ont été faits via le logiciel de calcul CROPWAT V8.0 comme suit :

Les besoins en eau noté ETM de chaque culture sont déterminés par la formule suivante:

$$ETM = Kc ETo - Pe$$

Avec

Pe: pluviométrie efficace en mm a été calculée par les formules :

Kc : coefficient cultural caractéristique de l'espèce et de son stade de développement végétatif.

ETo : évapotranspiration potentielle en mm estimée par la « **méthode de Penman Modifiée** » moyennant le logiciel CROPWAT V8.0. Elle est basée sur les paramètres climatiques à savoir la température, le temps d'insolation, la vitesse du vent.

La figure ci-dessous déterminée permet d'apprécier les déficits ou besoins en eau par décade à partir de 15 juin.

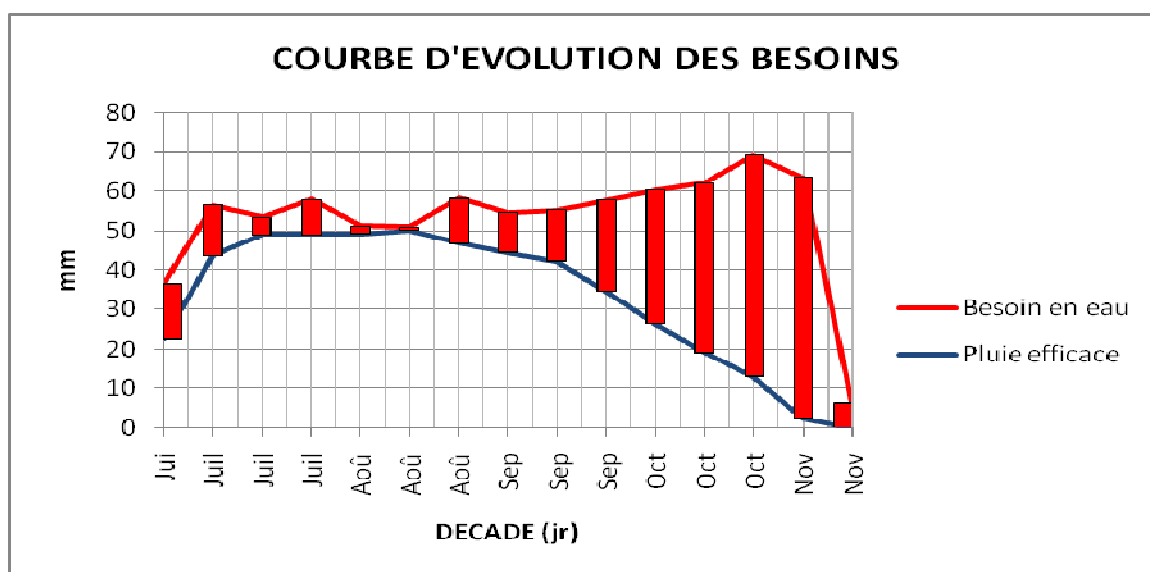


Figure 15 : Courbe d'évolution des besoins en eau net du riz

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

On constate qu'après les grandes pluies du mois d'Août la pluviométrie diminue considérablement tandis que les besoins du riz augmentent. De plus le volume disponible au niveau de la retenue pendant le même mois est maximal, on peut donc dire qu'il est préférable de commencer le remplissage pendant ou juste après le mois d'Août. Les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants.

Tableau XX : Simulation de l'exploitation de la plaine

Périodes	Début de période		Pertes(evap+infiltr)			Irrigation			Apports	Fin de Période	
	Niveau	Volume	haut.évap	Nouv.niv	nouv.vol	Vol.cons	Nouv.Vol	Nouv.niv	vol.	Volume	Niveau
Août	372,50	3 100 000	0,14	372,36	3 075 000	12 930	3 062 070	371,4	78 858	3 140 928	372,70
Septembre	372,70	3 125 000	0,15	372,55	3 100 000	1 950 000	1 150 000	367,5	1 409 650	2 559 650	371,50
Octobre	371,50	2 559 650	0,15	371,35	2 350 000	1 200 000	1 150 000	367,5	136 306	1 286 306	367,70
Novembre	367,70	1 286 306	0,155	367,545	1 200 000	50 000	1 150 000	367,5	0	1 150 000	367,50
Décembre	367,50	1 150 000	0,159	367,341	1 085 000	0	1 085 000	367,341	0	1 085 000	367,34
Janvier	367,34	1 085 000	0,168	367,173	1 050 000	0	1 050 000	367,173	0	1 050 000	367,17
Février	367,17	1 050 000	0,176	366,997	950 000	0	950 000	366,997	0	950 000	366,99
Mars	366,99	950 000	0,209	366,781	900 000	0	900 000	366,781	0	900 000	366,78
Avril	366,78	900 000	0,202	366,579	850 000	0	850 000	366,579	101 962	951 962	366,99
Mai	366,99	951 962	0,203	366,787	920 000	0	920 000	366,787	101 783	1 021 783	367,20
Juin	367,20	1 021 783	0,176	367,024	1 020 000	0	1 020 000	367,024	963 062	1 983 062	369,80
Juillet	369,80	1 983 062	0,152	369,648	1 950 000	0	1 950 000	369,648	2 123 863	4 073 863	372,50

Il ressort de ce tableau qu'il est possible de satisfaire le besoin en eau de 505 hectares (superficie aménagée de la plaine sous les digues) et en fonction des contraintes agronomiques préconisées.

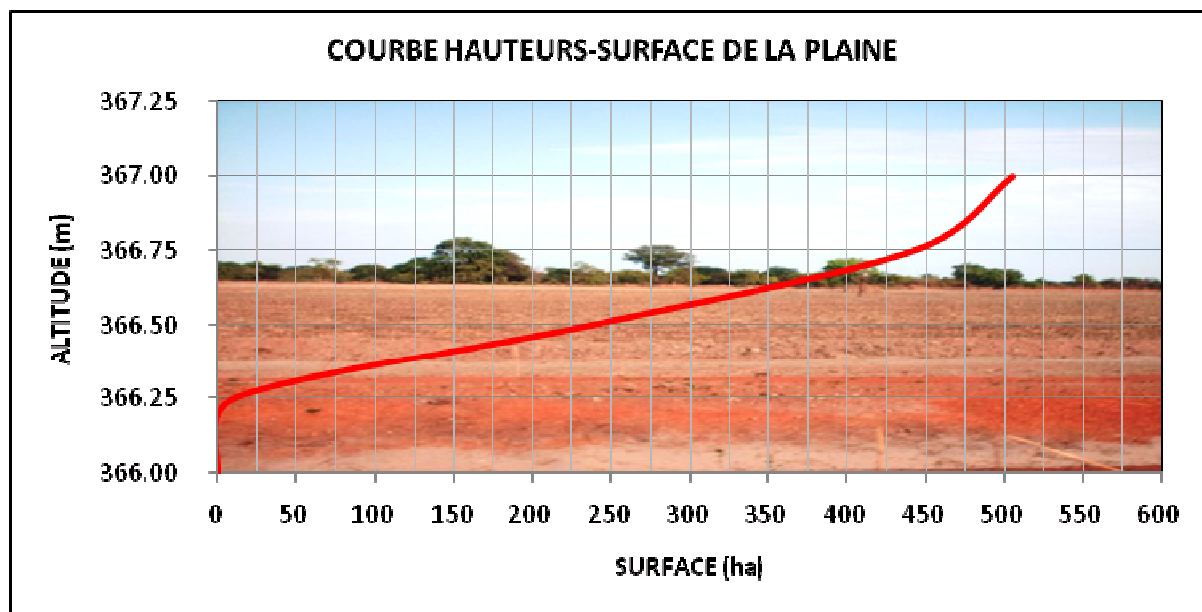


Figure 16 : Courbes hauteurs – surfaces de la zone aménagée de la plaine

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

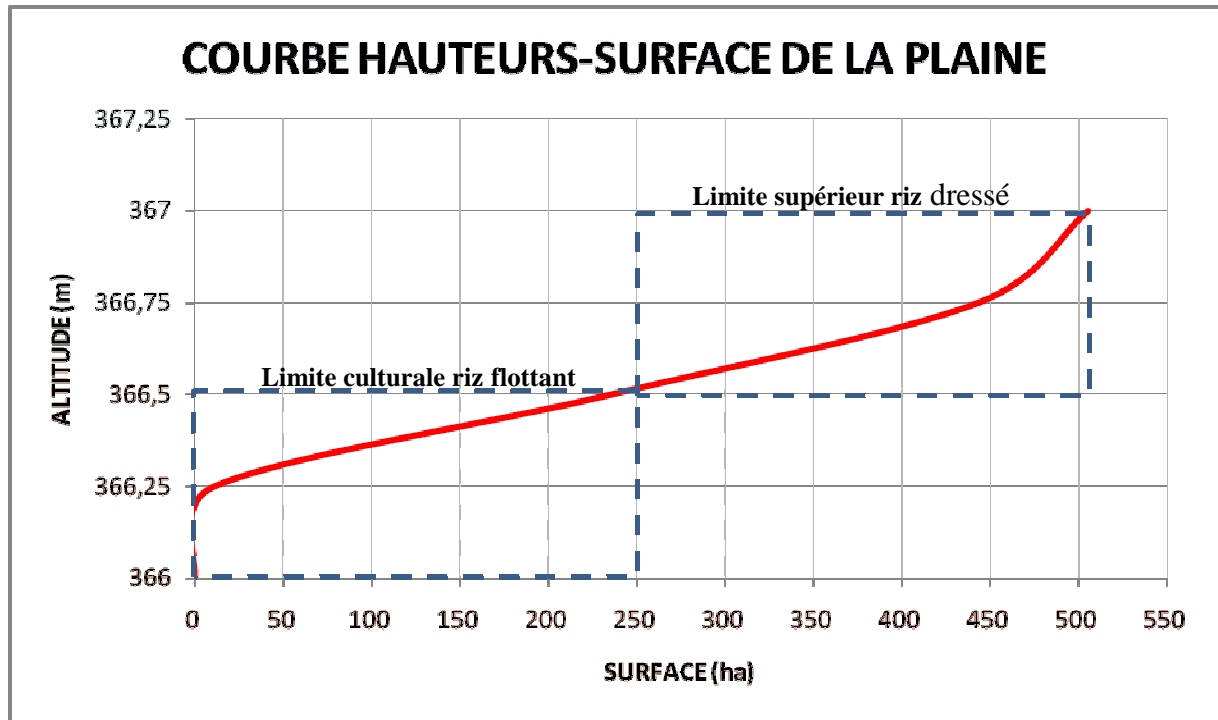


Figure 17 : superficie cultivable par frange culturale de la plaine

ANNEXE VII : ETUDE DES INFRASTRUCTURES

Elle consiste en la vérification des ouvrages sous les conditions de remplissage définies plus haut. Le canal d'amené sera vérifié par rapport à sa capacité à faire passer les débits nécessaire pour le remplissage de la plaine et les ouvrages d'admission et de vidange en conséquence. Pour cela n'ayant en disposition le débit de dimensionnement actuel du canal, le calcul sera basé sur ses dimensions actuelles et les débits projetés. Compte tenu du fait que le canal est actuellement en réhabilitation, ce calcul sera limité à cette vérification qui est nécessaire pour se rassurer de la bonne conduite du remplissage de la plaine.

6.1 Canal d'amené

Calcul de pertes de charge dans le canal

Le débit transitant dans le canal vers la plaine est la somme :

- des débits nécessaires au remplissage (vitesse de remplissage x surface inondée);
- du débit destiné à compenser les pertes par évapotranspiration-infiltration.

En régime uniforme, la hauteur d'eau dans le canal est calculée en fonction du débit et des caractéristiques géométriques par la formule de Manning Strickler:

$$Q = K.S.(R^{2/3}).(I^{1/2})$$

Avec

$$R = S/P; S = y.(b + my); P = b + 2 \times my$$

- Q : débit (m³/s)
- K_s : Coefficient de rugosité de Strickler ;
- S : Section mouillée (m²) ;
- I : Pente du canal = 0.001mm/m ;
- Y : Tirant d'eau (m) ?
- K_s = 70 pour le canal d'amené (revêtu) ;
- Largeur b=1m ;
- R : Rayon hydraulique (m)
- P : Périmètre mouillé (m)
- m : Fruit du talus pris= 0.5

On procède ainsi :

- VR = 5cm/jr;
- ETP-P+I = 2.33cm/jr;

Le débit spécifique journalier q par ha en l/s égal à:

$$q = \frac{v + ETP - P + I}{0.864} = 6.98 \text{ l/s/ha}$$

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

Le débit journalier total $Q=q \times S$ (m³/s) :

$$Q_{\max\text{jou}} = 6.981 \times 505 \times 0.0001 = 3.52 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dimensionnement

La vérification des dimensions du canal d'amené a été effectuée par le logiciel de dimensionnement des canaux « Hydraulique Genre » développé par Dr BIAOU Angelbert, enseignant chercheur 2^{ie} et vérifié à l'aide d'un tableur Excel.

On obtient :

Paramètre		Résultats	
Q (m ³ /s)	3.52	hauteur d'eau normal Yn (m)	1.37
Ks	70	Vitesse (m/s)	1.51
i (m)	0.001	Section mouillée S (m ²)	2.31
b (m)	1	Périmètre mouillé P (m)	4.07
mg	0.5	lame en miroir lm (m)	2.37
md	0.5	Hauteur du canal (m)	1.60

La revanche retenue est 23 cm ce qui donne $Y = 1.37\text{m}$ avec $H = 1.60\text{m}$ (hauteur du canal)

Les dimensions calculées ci-dessus permettent de vérifier que les dimensions du canal d'amené sont capables de transiter le débit nécessaire pour le remplissage. Cependant nous recommandons de revêtir ce canal quelque peu envasé en béton afin de bénéficier d'un système plus efficace.

6.2 Ouvrages de remplissage et de vidange

Les ouvrages d'admission et de vidange doivent être calculés de sorte qu'ils permettent respectivement de remplir les casiers à leur cote optimale et d'abaisser le niveau du plan d'eau jusqu'à vidange partiel ou complet. Les ouvrages sont construits en béton et présentent une structure en bon état. Il s'agira pour nous de vérifier si leurs nombres de passes actuelles soit 2 passes, sont suffisantes pour le remplissage et l'évacuation de l'eau dans la plaine en fonction du débit Q . Connaissant ce débit Q , les hauteurs en aval (H_{av}) et en amont (H_{am}) de l'ouvrage, on détermine le nombre n et les largeurs des passes de telle sorte que le débit q calculé par la formule KISSILIEV soit tel que $nq > Q$

$$q = E \phi b H_{am} (2g \cdot z_A)^{1/2}$$

Le débit minimum par passes est :

$$q_{\min} = Q/n$$

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

ϕ : Coefficient dépendant de la hauteur du seuil, sa valeur est = 0.9

b : largeur d'une passe = 2.5 m

n : nombre de passe = 2

g : accélération de la pesanteur = 9.81

Ham : Hauteur à l'amont

Z : Hav-Ham

E : Coefficient de contraction latéral,

X : coefficient dépendant de la forme de la pile à l'amont = 0,4,

X' : coefficient dépendant de la forme de la pile à l'aval = 0,5.

— avec $Va = Q / (nbHam)$

Les résultats après calcul sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau XXI : Paramètres de vérification des ouvrages

Q	n	b	Hav	Ham	za
3,52	2,00	2,50	1,80	1,75	0,06
Va	E	Ho	q	n*q	
0,40	0,98	1,81	4,12	8,24	Suffisant

Il ressort de ce tableau que les ouvrages ont la capacité à faire passer le débit maximum journalier de remplissage ou de vidange et allant jusqu'à **8.24 m³/s**. On conserve donc le nombre de passes de ces ouvrages. Rappelons que ces ouvrages présentent une structure en béton en bon état et ne seront donc pas concernés directement par les travaux de réhabilitation. Cependant des échelles pour le contrôle du plan d'eau à l'entrée et la sortie de la plaine doivent être mises en place. Aussi une deuxième dalle de passage doit être réalisée au niveau de l'ouvrage de vidange afin de permettre le passage des charrettes des exploitants.

6.3 Digue de ceinture

La digue de ceinture sera calée à la cote 368m au dessus du TN. L'hypothèse de départ reste une des solutions mais reste très coûteuse. Nous avons donc choisi de protéger la plaine contre les inondations récurrentes. Notre analyse s'est portée sur le niveau de calage des digues de

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

ceintures des plaines à côtés (Djoulafoundou 368m) et sur les témoignages de certains vieux du village sur les inondations connues dans le passé. La figure suivante permet d'illustrer l'état de la digue actuelle et sa réhabilitation.

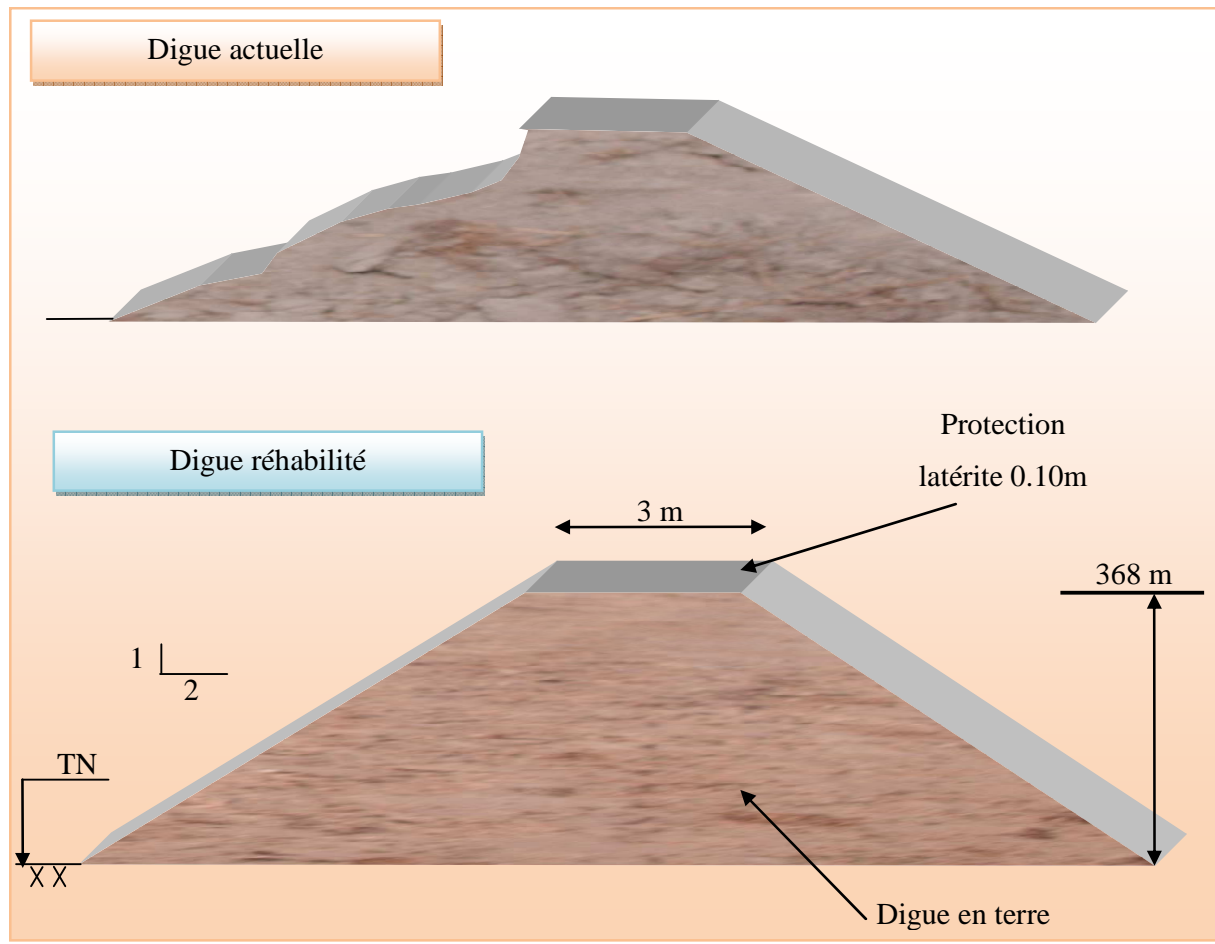


Figure 18 : Schéma type de réhabilitation de la digue de ceinture

ANNEXE VIII : CALENDRIER CULTURAL

Tableau XXII : calendrier culturel type de la plaine de tombola

Mois	juin		juil.			Août			Sept.			Oct.			Nov.			
Décade	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Evol. Du Riz																		
Mise en eau de plaine de TOMBOLA																		
Stades végétatifs	semis		lev	tallage			Montaisons et init.pan			floraison- épiaison			remp. Des grains maturation					

Tableau XXIII : Récapitulatif du programme culturel

Période	Dates	Cote plaine (m)	Observations
29 août-06sept	29-août	366	début de remplissage
	07-sept	366,5	atteinte de la limite culturelle (frange 50 cm)
	24-sept	367,01	atteinte de la limite culturelle (frange 80 cm)
	27-sept	367,1	atteinte de la limite supérieure des cultures
	06-oct	367,4	atteinte du plan d'eau maximale dans la plaine
15 nov-25nov	15-nov	367,23	début de vidange
	25-nov	366,5	fin de vidange

Ce calendrier a été élaboré conformément à la date de début des travaux (au plus tard début juin). Toutefois compte tenue du caractère aléatoire de la pluviométrie qui est sensée satisfaire les besoin du riz (levé-tallage) pendant 1mois et demi soit 45 jours après le semis, il peut s'avérer nécessaire de le réadapté en fonction des contrainte. Cependant nous conseillons le début de remplissage de la plaine au plus tard 1er septembre du fait que le marigot Kokoyon (principale source d'alimentation) n'est pas pérenne et son niveau commence à baissé à partir du mois d'octobre.

Les cotes journalières de remplissage atteintes dans la plaine et les débits d'équipement journalier sont récapitulées dans le tableau XII.

ANNEXE IX : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Tableau XXIV: Devis quantitatif et estimatif

Désignations	Unité	quantités	Prix Unitaires	Montant
Amenée et repli du chantier	FF	1	800 000	800 000
Terrassement				
travaux de planage dans la plaine	m2	1 200	500	600 000
Digue				
Remblai de terre compacte	m3	25 543	4 000	102 172 000
Ouvrage				
Echelle de crue en tôle émaillée	ml	16	65 000	1 040 000
Dalle en béton armé dosé de 350kg/m3	m3	1	150 000	135 000
Batardeaux métallique de 1,5x1x0,1	U	14	80 000	1 120 000
Mise en place des sacs de gabions 2x2x1	U	160	75 000	12 000 000
Pierré non maçonnés	m3	60	22 500	1 350 000
Canal d'améné				
Revêtement en béton armé 350kg/m3	m3	2 464	150 000	369 600 000
Total global				488 017 000

Le présent devis est arrêté à la sommes de quatre cent quatre vingt huit millions dix sept mille (488 017 000) francs cfa.

ANNEXE X : PLAN TOPOGRAPHIQUE DE LA PLAINE DE TOMBOLA

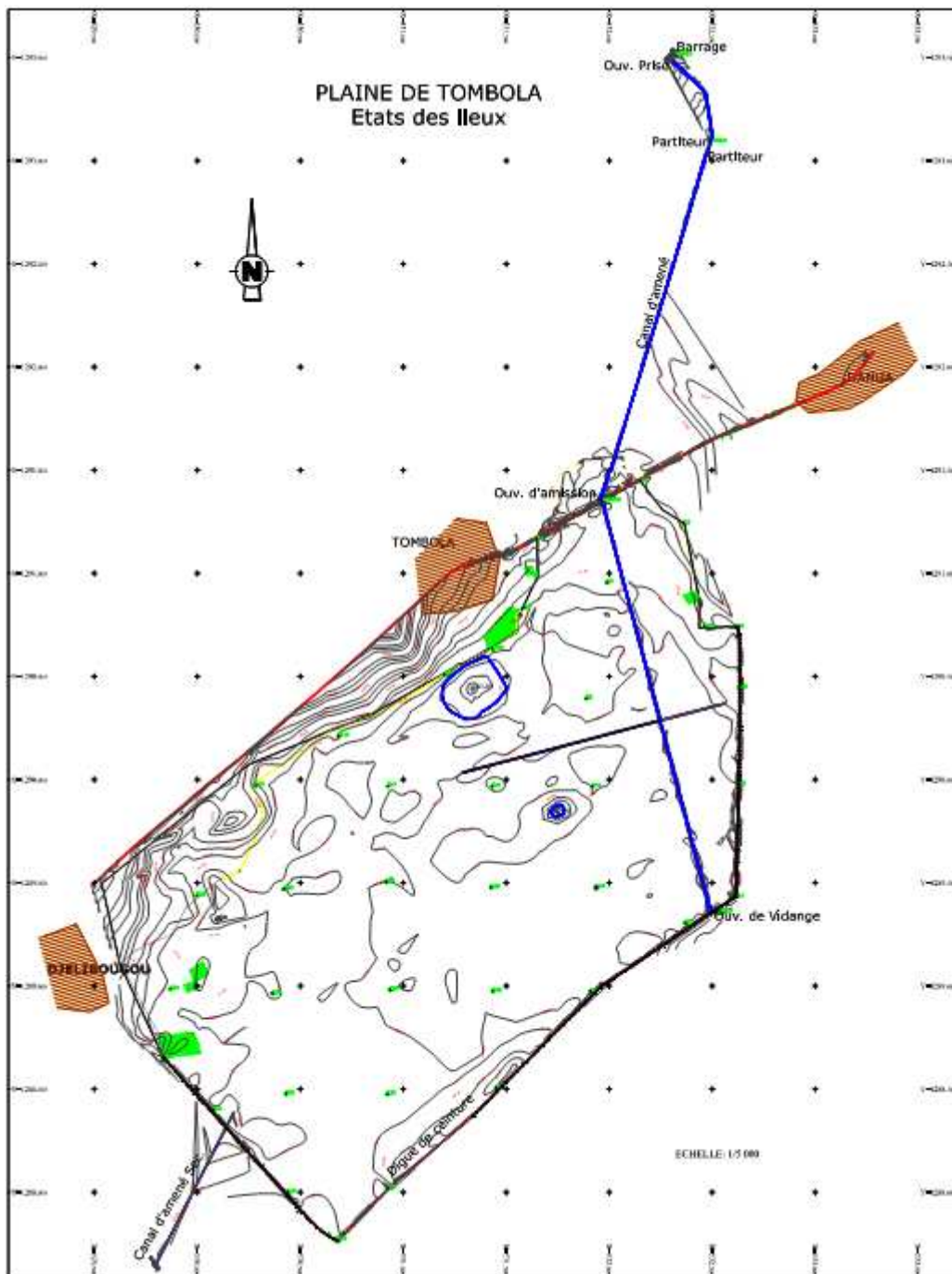


Figure 19: Plan topographique de la plaine de Tombola (source SETAD)

Table des matières

I. Introduction et Généralités.....	4
1.1 Introduction.....	4
1.2 Milieux physique	5
1.2.1 Localisation de la zone du projet et du site.....	5
1.2.2 Etudes topographiques - Relief.....	5
1.2.3 Climat	6
1.2.4 Ressources en eaux.....	6
1.2.5 Ressources en sol.....	7
1.2.6 Végétation.....	7
1.3 Milieux Humains.....	7
1.3.1 Population et paramètres démographiques	7
1.3.2 Analyse socio-économique et foncière.....	7
II. Objectifs et résultats attendus	8
III. Méthodes et matériels.....	9
3.1.1 Contraintes agronomiques de remplissage	9
3.2.2 Schéma d'aménagement hydro-agricole de la plaine	10
3.3.3 Études hydrologiques et hydrauliques	12
3.3.4 Études de réhabilitation des infrastructures de la plaine.....	15
IV. Résultats	18
4.1 Caractéristiques du BV	18
4.2 Climatologie.....	19
4.3 Hydrologie	19
4.3.1 Etudes des crues (méthode d'ORSTOM)	19
4.3.1 Apports liquides.....	19
4.3.2 Apports solides	20
4.4 Etudes des besoins en eau et simulation.....	20
4.4.1 Besoin en eau de la plaine et superficie aménageable	20
4.4.2 Analyse topographique de la cuvette du Kokoyon	22
4.5 Etudes des infrastructures.....	24
V. Discussion et Analyses	26
VI. Conclusions	30
VII. Recommandations - Perspectives	31

Etude de réhabilitation de la plaine de Tombola, commune rurale de Nougua, cercle de Kangaba, région de Koulikoro

VIII. Bibliographie	33
IX Annexes.....	34
ANNEXE I : CONTRAINTES AGRONOMIQUES-VARIETES	36
ANNEXE II : ETUDE DU BASSIN VERSANT	37
1.1 Caractéristiques hydromorphologiques du bassin-versant.....	37
• La superficie du bassin-versant (S)	37
• Le périmètre du bassin-versant (P)	37
• L'indice de compacité de GRAVELIUS.....	37
• La longueur (L) du rectangle équivalent.....	37
• L'indice global de pente.....	37
• Indice global de pente corrigé (I _{gcor}):	38
• Densité de drainage (Dd):.....	38
• Dénivelé spécifique (Ds).....	38
ANNEXE III : ETUDES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES	39
2.1 Traitement de données climatiques - Pluviométries	39
ANNEXE IV : ETUDES DES CRUES	43
• Estimation de la crue centennale	46
• Estimation de la crue projet.....	46
ANNEXE V : ETUDE DES APPORTS	47
4.1 Apports liquides.....	47
4.2 Apports solides.....	47
ANNEXE VI : ANALYSES DES BESOINS EN EAU	49
ANNEXE VII : ETUDE DES INFRASTRUCTURES	54
ANNEXE VIII : CALENDRIER CULTURAL	58
ANNEXE IX : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF	59
ANNEXE X : PLAN TOPOGRAPHIQUE DE LA PLAINE DE TOMBOLA	60