THEME : ETUDE DE FAISABILITE D'AMENAGEMENT DE CERTAINES MARES DANS LA ZONE D'INTERVENTION DE GWI-MALI : CAS DES MARES DE LA COMMUNE DE SOKOURA DANS LE CERCLE DE BANKASS

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER SPECIALISE EN HYDRAULIQUE ET SYSTEMES IRRIGUE (HSI)

Présenté et soutenu publiquement le 23 Septembre 2011 par :

Patrick KAZADI KALENGA

Travaux dirigés par **:**

Sewa DASILVERA KOFFI Enseignant, Chercheur au 2iE

&

Bamadou CESSOUMA Coordinateur GIRE/GWI-Mali

Jury d'évaluation du stage :

Président :	Hamma YACOUBA
Membres et correcteurs :	Kouassi KOUAME
	Sewa DASILVEIRA KOFFI

Promotion 2010/2011

CITATION

« Le temps mûrit toutes choses ; par le temps toutes choses viennent en évidence ; le temps est père de la vérité »

Rabelais.

DEDICACE

A mes parents Jérémie KAZADI, Angélique META

A mes frères et sœurs Ivonne, Samy, Mamy, Jean marc, Tito, Irène, Thierry, Judith et Sarah KAZADI

A mes neveux et nièces Donel, Emmanuel, Joynice, Eliot, Bénie et Hannaela

A toutes personnes qui m'ont apporté leurs soutiens

Je dédie ce travail pour l'amour et le soutien indéfectible que vous m'avez témoigné durant cette année d'absence à vos cotés.

Puisse Dieu vous en ouvrir les portes d'une satisfaction méritée.

REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements s'adressent singulièrement à Monsieur Sewa DASILVEIRA KOFFI Enseignant chercheur à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement (2iE) qui malgré ses multiples occupations nous a accordé un encadrement nécessaire à la réussite du présent travail.

C'est également l'occasion pour nous de remercier l'ensemble du personnel enseignant de la fondation 2iE pour la qualité des enseignements reçus durant notre formation.

Qu'il nous soit aussi permis de remercier le Coordinateur National GWI-Mali Monsieur Sahada TRAORE pour son implication dans la réussite de ce travail.

Que Monsieur Bamadou CESSOUMA Coordinateur GIRE/GWI-Mali qui malgré un emploi de temps chargé, m'a fait profiter de ses conseils et ses suggestions pertinentes, Merci.

Que l'ensemble du personnel du GWI-Mali, trouvent ici l'expression de notre gratitude pour leur franche collaboration, tout au long de notre stage.

Nous exprimons notre reconnaissance toute particulière à Robert Moussa DEMBELE Ingénieur à la Direction Régionale du Génie Rurale de Mopti pour sa disponibilité et ses contributions à nos préoccupations.

Nous voudrions également remercier nos amis pour leur complicité à toute épreuve en particulier GASSINTA Prosper, Alfred BOLITO, Wilfred KOMBE, George NSHAGALI, Olivier MAKITA, Leric UBUTO, Omer TOKPA, Seydou YACOUBA ainsi qu'à toute la communauté congolaise à l'Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement (2iE).

L'auteur.

RESUME

Le développement socio-économique des sociétés rurales en Afrique subsaharienne suppose la maîtrise des ressources en eau de surface qui ont une importance vitale dans le système de production agro-pastorales. Cependant l'essor des activités agro-pastorales de la commune de Sokoura est compromis par le manque d'eau en saison sèche. Mais une étude de faisabilité d'aménagement des mares présentant des potentiels hydriques et agronomiques grâce aux apports d'eau des ruissellements provenant des zones collinaires a été initiée par GWI qui envisage apporter un appui à l'essor des activités agro-pastorales dans la commune de Sokoura.

L'objectif de l'étude est de proposer un type d'aménagement qui prenne en compte les contraintes environnementales, techniques et qui servira de point de départ au dialogue avec la population de la commune de Sokoura en particulier celles du village de Sokoura et de Boulel pour l'élaboration d'un avant projet définitif. Le document commence par une recherche documentaire et les visites de terrain ont été nécessaires pour mener à bien cette étude.

Outre les études techniques (topographiques, géotechniques et hydrologiques), cette étude a intégré les aspects d'environnements qui plus est, les propositions d'aménagement ont été faites en respectant l'un des principes cardinaux du développement durable, à savoir la participation effective des populations bénéficiaires. Ce faisant l'option de l'aménagement est le surcreusement des mares. Les caractéristiques des calculs et dimensionnements ainsi que le cout estimatif de l'aménagement ont été analysés. Cependant le prix de revient moyen du m^3 d'eau stockée est de 45 FCFA/m^3

Mots clés

1. Hydraulique
2. Bassin versant
3. Mare
4. Dimensionnement
5. Environnement

ABSTRACT

The socio-economic development of rural societies in sub-Saharan Africa requires the control of surface water resources which are vital in the system of agro-pastoral. However the development of agro-pastoral activities of the municipality of Sokoura is compromised by the lack of water during the dry season. But a feasibility study for development of ponds with water and agricultural potential due to transfers of water runoff from hilly areas was initiated by GWI considering providing support to the development of agro-pastoral activities in the municipality of Sokoura. The objective of this study is to provide a type of development that takes into account environmental constraints, technical and which has to serve as a starting point for dialogue with the people of the Sokoura commune, especially the village of Sokoura and Boulel for the preparation of the final draft. This dissertation begins with a literature review and field visits were necessary to carry out this study. In addition to the technical studies (topographic, geotechnical and hydrological) ,this study has incorporated aspects of environments, development proposals have been made in accordance with one of the core principles of sustainable development, namely the effective participation beneficiary populations. In doing so the option of development is the deepening of ponds. The characteristics, dimensions of the calculations and the estimate cost of development were analyzed. However, the average cost price of m^3 of water stored was estimated at 45 FCFA/m^3

Key words

1. Hydraulic
2. Watershed
3. Pond
4. Sizing
5. Environment

SOMMAIRE

I.INTRODUCTION 1

II.OBJECTIF ET RESULTATS ATTENDUS 8

III.METHODES ET MATERIELS 9

IV.RESULTATS 11

V.DISCUSSION ET ANALYSES 25

VI.CONCLUSION 30

VII.RECOMMANDATION ET PERSPECTIVES 30

VIII.BIBLIOGRAPHIE 32

IX.ANNEXES 34

LISTE DES ABREVIATIONS

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

ADT : Analyse Diagnostic Transfrontalière

CDI : Centre Documentaire et d'Information

CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

CRS : Catholic Relief Services

DCTD : Département de la Coopération Technique pour le Développement

DRGR : Direction Régionale du Génie Rurale de Mopti

FAO : Fond des nations unies pour l'alimentation

FEM : Fonds pour l'Environnement Mondial

GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

GPS : Global Positioning System (Système de Positionnement Géographique)

GWI : Global Water Initiative

IIED : International Institute for Environment and Development

ORSTOM : Office de Recherche Scientifique et Technique d'outre Mer (actuellement IRD)

PMH : Pompe à Motrice Humaine

PSACS : Plan de Sécurité Alimentaire de la Commune de Sokoura

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Récapitulatif des résultats géotechniques de la mare de Kokénè 13

Tableau II : Récapitulatif des résultats géotechniques de la mare de Tago 13

Tableau III : Caractéristiques hydro morphologiques des Bassins versants 14

Tableau IV : Récapitulatif des valeurs caractéristiques des pluies annuelles 14

Tableau V : Récapitulatif des valeurs caractéristiques des pluies maximales journalières 15

Tableau VI : Récapitulatif des caractéristiques physique de la crue du projet 15

Tableau VII : Récapitulatif du calcul des apports liquides 16

Tableau VIII : Récapitulatif du calcul des apports solides..... 16

Tableau IX : Récapitulatif des besoins pastoraux du cheptel en contre saison..... 17

Tableau X : Récapitulatif des besoins domestiques en contre saison 17

Tableau XI : Récapitulatif des principales caractéristiques de dimensionnement 18

Tableau XII. Caractérisation de l'impact en fonction de l'intensité et la durée..... 19

Tableau XIII : Devis estimatif de la mare de Kokénè..... 23

Tableau XIV : Devis estimatif de la mare de Tago..... 23

Tableau XVI : Paramètres descriptifs de l'échantillon des pluies annuelles 37

Tableau XVI : Paramètres descriptifs de l'échantillon de la pluie maximale journalière..... 38

Tableau XVII : Paramètres constructifs de la digue de protection 47

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude 4

Figure 2 : Pluviometrie moyenne annuelle de la commune de Sokoura 5

Figure 3 : Carte topographique de la mare de Kokénè (Sokoura) 11

Figure 4 : Carte topographique de la mare de Tago(Boulel) 12

Figure 5 : Limite du bassin versant de la mare de Kokénè 36

Figure 6 : Limite du bassin versant de la mare de Tago 36

Figure 7: Pluviométries annuelles de la commune de Sokoura 37

Figure 8: Présentation de F(Xi) à la de GAUSS 38

Figure 9: Présentation de F(Xi) à la loi de GUMBEL 39

Figure 10 : Courbe Hauteur-Volume de la mare de Kokénè 46

Figure 11 : Courbe Hauteur-Volume de la mare de Tago 46

Figure 12 : Schéma d'aménagement de la mare de Sokoura 48

Figure 13 : Schéma d'aménagement de la mare de Tago 48

I. INTRODUCTION

La zone sahélienne située entre les isohyètes annuels 50 et 750 mm occupe une bande de 500 km de largeur du Sénégal au Tchad et son climat est caractérisé par une saison des pluies de trois à quatre mois, de début Juin à fin Septembre, dont la durée, l'intensité décroit du Sud au Nord et dont les variations interannuelles sont considérables par des écarts de température élevées 5° à 15°C au minimum en janvier,40 à 45°C au maximum en Mai croissant avec la latitude. Par la prépondérance d'un vent très sec en provenance du Nord-est, l'harmattan, qui souffle pendant plus de la moitié de l'année et qui associé à la température très élevée, entraine une très forte évaporation.

Les contraintes naturelles empêchent, la plupart de temps, la pression de points d'eau permanents en saison sèche en dehors des vallées des quelques grands fleuves de la zone. Aussi des gigantesques programmes des puits et forages dans tous les pays des sahels en vue de fournir aux populations et aux bétails l'eau indispensable à la vie.

Pourtant les nappes d'eau souterraines sont parfois trop profondes ou de débits trop faibles, voir même inexistantes et ne peuvent être exploitables économiquement par des forages ou des puits, d'où les recours aux eaux de surface.

Les faibles pentes de terrain naturel empêchent les systèmes habituels en pays arides : citernes, réservoirs etc. Ces eaux doivent être stockées aux préalables soit derrière un barrage de retenue, solution très classique, soit dans une mare surcreusée où la retenue est créée par les déblais de la mare. Naturellement des solutions mixtes existent où les déblais de la mare servent en partie à construire le barrage et où le volume de la retenue est ainsi augmenté artificiellement.

Néanmoins au Mali, les modifications de l'environnement climatique associé à la croissance démographique, à la dégradation des terres et à l'entrée de l'agriculture dans l'économie du marché, ont profondément changé les conditions de mise en valeur agricole des bas fonds.

Malgré cela la politique actuelle de développement au Mali est orientée vers la base que constitue le milieu rural n'a en général d'autres moyens de se développer que se tourner vers la terre.

Elle ne peut tirer de profit que si cette terre est bien aménagée pour les conditions de son exploitation meilleure. Les techniques tout en restant proche du savoir-faire des paysans pour qu'ils s'y adaptent sans difficultés majeures et avec un coût de revient moindre.

L'agriculture est une des activités principales dans le milieu rural malien, les populations du cercle de Bankass n'en sont pas les restes en particulier celle de la commune de Sokoura. Mais l'irrégularité dans la répartition de l'eau (principal agent véhiculant les besoins des plantes), suivants les périodes des activités agricoles compromet les résultats. Cette étude a été initiée par Global Water Initiative-Mali qui envisage apporter un appui à l'essor des activités agro-pastorales dans la commune de Sokoura.

Force est de constater que le secteur agropastorale constitue de manière soutenue à la sécurité alimentaire et nutritionnelle et le but de cette étude est la conception de l'aménagement des certaines marres à vocation agro-pastorale à savoir : la mare de Kokénè et celle de Tago dans la commune de Sokoura.

Cependant les mares sont principalement utilisées pour l'abreuvement des animaux et pour les cultures de maraichages en contre saison et la quasi-totalité des marres sont temporaires et s'assèchent au plus vers février. Au delà de cette période, seule la zone profonde du Sourou garde de l'eau et pourtant la principale préoccupation des populations en ce qui concerne les mares reste prioritairement le surcreusement.

La commune de Sokoura fait partie des 12 communes qui composent le cercle de Bankass et couvre une superficie de 927 km^2 avec une population de 36648 habitants dont 18648 hommes (51%) et 17920 femmes (49%) est repartie entre 6767 ménages (PSACS .2000).

Pour approvisionner toute cette population, les eaux souterraines ne sont pas facilement accessibles pour l'abreuvement des populations humaines et animales. La population s'approvisionne alors, dans des mares qui constituent les eaux de surface pour l'abreuvement des animaux, fabrique de brique. Malgré leur faible capacité d'encaissement, ces mares soutiennent les activités des populations pour une bonne période de l'année.

Compte tenu de l'importance socio-économique des mares, il s'avère important de soutenir l'effort de la population dans ce contexte d'adaptation par la réalisation d'une étude pour voir la faisabilité technique d'aménagement de ces deux mares afin qu'elles puissent contenir plus d'eau pour soutenir des activités agro-pastorales en saison sèche.

- ***Présentation de la structure d'accueil***

Le programme « **Global Water Initiative** »(GWI), financé par la Fondation Howard G. Buffet, cherche à relever le défi de fournir à long terme l'accès à l'eau potable et à l'assainissement, ainsi que la protection et la gestion des services des écosystèmes et des bassins hydrographiques, au profit des plus pauvres et des plus vulnérables dépendant de ces services. Le consortium régional de GWI en Afrique de l'Ouest est composé des partenaires suivants : Union Internationale pour la Conservation de la Nature (**UICN**), Catholic Relief Services (**CRS**), CARE International, SOS Sahel International-UK, International Institute for Environment and Development (**IIED**). Le programme GWI en Afrique de l'Ouest couvre cinq pays : le Sénégal, le Ghana, le Burkina Faso, le Mali et le Niger.

Le GWI-Mali

Un consortium de trois ONG Internationales CARE, UICN, CRS et des partenaires tels que Sahel ECO et CARITAS dont CARE assure le lead. Au Mali, le GWI intervient dans le sous bassin du Sourou qui s'étend sur 26 communes dont 12 dans le cercle de Bankass, 13 dans le cercle de Koro et une commune (Mondoro) dans le cercle de Douentza dans la région de Mopti.

L'équipe du projet

Elle est composée de douze (12) personnes.

- Un Coordinateur National ;
- Un Coordinateur de Changement de Comportement ;
- Un Chargé du Suivi Evaluation ;
- Un Coordinateur GIRE ;
- Un Coordinateur apprentissage ;
- Un Conseiller en maîtrise d'Ouvrage;
- Un Superviseur ;
- Deux (2) animateurs
- Une Secrétaire comptable
- Un Gardien

- ***Localisation de la zone du projet***

L'indication géographique d'un lieu fait partie d'une des données préliminaires capables d'informer entre autres sur la géologie, la climatologie, les ressources naturelles présentes, les contraintes de vie sociale de la population (activités).

La commune de Sokoura se trouve dans le cercle de Bankass, plus précisément dans la plaine de Seno (Région de Mopti) et a pour coordonnées géographiques 03°31'23'' latitude Ouest et 13°39'15''longitude Nord et elle est limitée par les communes de Ségué et Tori au Nord ; la commune d'Ouenkoro au sud ; la commune de Lanfiara (Cercle de Touami) et le Burkina Faso à l'Ouest et enfin la commune de Baye à l'Est.

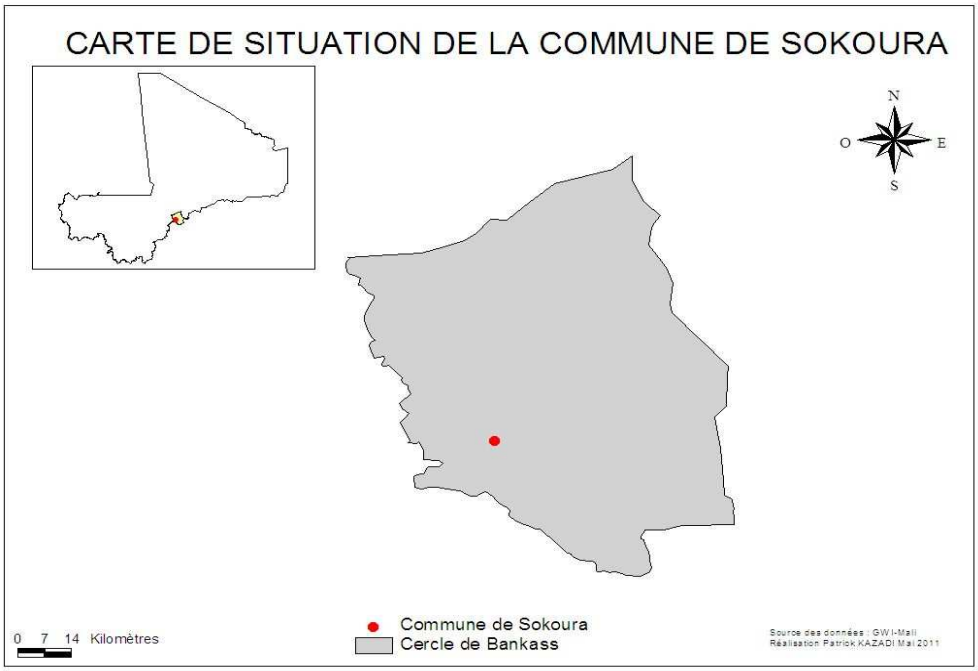

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

- ***Cadre climatique***

Le régime climatique de la zone d'étude est régi par le flux et le reflux de deux types de masses d'air :

- L'harmattan, vent sec et brumeux, chaud le jour et frais la nuit, provenant de l'anticyclone saharien (zone de haute pression) et dirigé vers la zone de convergence intertropicale suivant la direction privilégiée Sud-ouest - Nord-est : c'est la masse d'air qui s'installe durant la saison sèche ;

- La mousson, chargée d'humidité maritime, provenant de l'anticyclone de Sainte Hélène et également dirigée vers la zone de convergence intertropicale selon la direction privilégiée Nord-est - Sud-ouest.

Le mouvement de la surface de contact entre les deux masses d'air appelées Front Inter-Tropical (FIT) détermine le climat bi-saisonnier ci-dessus décrit que connaît la zone d'étude.

La zone d'étude se caractérise par deux saisons bien marquées :

- Une longue saison sèche, environ 8 mois, allant du mois d'Octobre à Mai. Et elle comprend une saison sèche froide (Novembre à Février) et une saison sèche chaude qui va de Mars à Mai caractérisée par les vents qui soufflent sur l'ensemble de la zone ;
- Une courte saison pluvieuse, s'étalant sur quatre mois, de Juin à Septembre avec des pics au mois d'Août pour les plus grandes hauteurs d'eau.

Les précipitations annuelles comprises entre 360 et 750 mm se caractérisent surtout par leur irrégularité et leur mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace. Les gradients thermiques varient énormément avec des écarts très importants entre le jour et la nuit (souvent plus de 20°C). En saison sèche chaude le thermomètre peut dépasser les 45°C tandis qu'en saison sèche froide on atteint des minimales oscillant entre 10 et 20°C.
Et une forte évaporation (entre 2000 et 3200 mm) des eaux de surface, notamment les mares ce qui constitue un véritable handicap pour la population en période sèche.

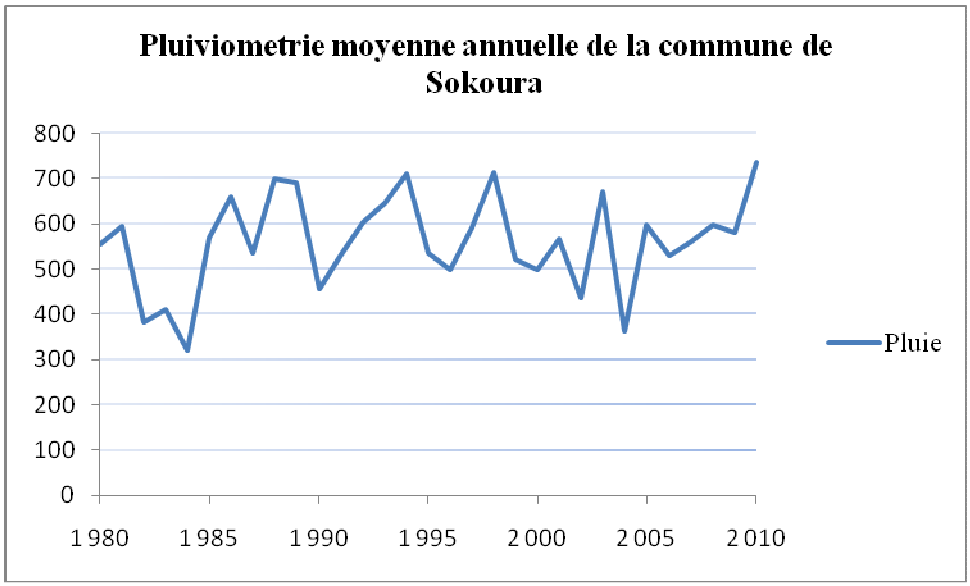

Figure 2 : Pluviometrie moyenne annuelle de la commune de Sokoura

Source : Service d'agriculture de Sokoura

- ***Géologie***

Une géologie essentiellement masquée par les formations du continental terminal et quartenaire, abritant des aquifères à nappes discontinues. Un relief majoritairement plat, présentant à quelques endroits de faibles contraintes mais qui se prête peu à la mobilisation des ressources en eau de surface par des ouvrages hydrauliques et également composé des sables d'apport éolien (de l'harmattan) d'argiles, de gravillons pisolithiques d'origine latéritiques.

- ***Hydrologie de la zone d'étude***

Située dans le bassin du Sourou, la zone du projet est constituée d'une multitude de petits bras indépendants et déconnectés du cours principal du Sourou qui alimentent de petits sous-bassins endoréiques. Les systèmes d'écoulements dans les deux zones se caractérisent comme suit :

Dans la zone A (plaine du Sourou), les écoulements de plaine alimentent le cours d'eau du Sourou. Cette dernière zone contribue à l'alimentation du lac du Sourou créé à la suite de la construction du barrage vanne de Léry au Burkina Faso.

La zone B (plaines du Gondo, du Séno et Zone de Mondoro), est constituée d'une série de mini-bassins endoréiques dans lesquels les écoulements se perdent dans les sols filtrants et/ou se jettent essentiellement dans de nombreuses mares de tailles diverses. Cette zone ne contribue pas aux écoulements du cours principal du Sourou au Mali ou le ferrait exceptionnellement dans des cas de pluies extrêmes d'envergure provoquant des inondations presque généralisées dans le bassin.

Cette zone peut être subdivisée en deux sous- zones :

- la zone B1 (plaine du Gondo): le système endoréique bénéficie des eaux colinéaires du plateau dogon, dont les vitesses accélérées par les versants du plateau, peuvent être très érosives
- la zone B2 (plaine du Séno et zone de Mondoro): le système endoréique est essentiellement alimenté par les écoulements des eaux de pluie des plaines de Séno, Gondo, et Mondoro, à vitesses relativement moins érosives.

Dans la zone du Séno, les écoulements ont contribué à la naissance de nombreuses mares et marigots temporaires (Source : Etude hydrologique GWI).

- ***Sol et végétations***

Selon l'étude relative à l'analyse diagnostique transfrontalière **(**ADT**)** récemment réalisée par le projet FEM/Volta en 2010**,** la végétation de la dite zone est essentiellement constitué de deux unités agro écologiques dominées par des savanes arbustives et arborées sur des plaines alluviales et partant de la même étude il ressort que les sols de la zone d'étude sont des sols légers sableux, des sols lourds argilo-limoneux et des sols limoneux. On y rencontre également des dunes stabilisées. Cette plaine est une zone de pâturage pluvial dans son immense majorité. Les cultures pluviales y occupent une faible partie et se pratiquent sur les sols limono-sableux.

- ***Population***

La population estimée à 36648 habitants dont 18648 hommes (51%) et 17920 femmes (49%) est repartie entre 6767 ménages. Elle est essentiellement composée de Dogons (agriculteurs) et des Peulhs (éleveurs). On y trouve d'autres ethnies telles que : les Dafing, Samogo, Mossi. Et le taux d'accroissement annuel est de 2,78%, la densité de la population dans le Séno est de 45 à 75 hab /km^2 .L'économie est essentiellement basée sur le commerce des produits d'agriculture et d'élevages constituants les principales activités de la zone.

Elle est aussi caractérisée par un fort mouvement migratoire des populations vers l'extérieur et compte 32 villages, plusieurs hameaux (PSACS .2000) .Nous signalons que cette étude porte sur deux villages à savoir : le village de Sokoura et celui de Boulel.

II. OBJECTIF ET RESULTATS ATTENDUS

- ***Objectifs du travail***

L'objectif global de cette étude est de proposer un plan sommaire d'aménagement des mares de la Commune de Sokoura, Il s'agira de :

- Faire des études techniques (topographique, géotechnique, hydrologique etc.) en vue de l'augmentation de la capacité de rétention de la mare ;
- Proposer des options d'aménagement des berges afin de les stabiliser pour des activités agro-pastorales ;
- Faire une évaluation sommaire du coût du projet.

- ***Résultats attendus***

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

- Un avant projet détaillé de l'aménagement des mares de la commune de Sokoura composé de : un mémoire explicatif justifiant les paramètres de base, la conception et les dispositions techniques particulières ;
- Devis quantitatif et estimatif ;
- Des notes de calculs.

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 au bureau. En conséquence, elle a comporté six (6) étapes, comme suit :

- La collecte des données de bases issues de l'analyse documentaire;
- Les rencontres avec les personnes ressources (le maire et la population) ;
- Etudes techniques de base (topographique, géotechnique et hydrologique) ;
- L'analyse des besoins en eau et dimensionnement des mares
- L'avant métré (devis quantitatif et estimatif);
- L'élaboration de toutes les pièces dessinées nécessaires (cfr annexe).

Les matériels utilisés sont :

- Appareil topographique (Théodolite Wild T1);
- Accessoires (1trepied, 2 mires) ;
- 1GPS 60;
- 1 ruban gradué (mètre);
- 1carte topographique de la zone pour l'appréciation et la délimitation des Bassins versants de la zone;
- Une série de pluviométrie relevée au service d'agriculture de la commune de Sokoura (1980-2010);
- Pioches, pelles pour les creusements des trous de sondages;
- Des logiciels tels que : MapInfo 8.5, Arcview 3.a, AutoCad 2008, Piste 5,Hydrolabs et le tableur Excel etc.

❖ ***Approche préliminaire***

Elle a concerné les aspects suivants :

- Une observation générale du terrain (topographie, sols, utilisation de l'espace etc.) ;
- Des entretiens avec les personnes ressources (le Maire de la commune et la population).

- ***Etudes topographiques***

La méthode utilisée a été le nivellement direct avec un théodolite T_1 fonctionnant comme un niveau. Les levés d'état de lieu avec des points tous les 20 m et les sommets des base de la polygonale ont été matérialisés par des bornes en béton.

- ***Etudes géotechniques***

La zone du projet doit satisfaire à des conditions d'ordre géologique et géotechnique à savoir :

- L'étanchéité, trouver des zones d'emprunt de matériaux destinés au remblai ;
- La protection de la digue (cas de Sokoura).

A cet effet des puits de reconnaissance ont été effectuées et des échantillons de sol remaniés ont été envoyés au laboratoire pour une analyse.

- ***Etudes hydrologiques et hydrauliques***

Ces études ont porté sur les études statistiques de pluies, la détermination des caractéristiques hydro morphologiques des bassins versants, l'estimation des apports interannuels (liquides et solides) par les méthodes d'ORSTOM et CIEH ainsi que les conditions de remplissage des mares.

- ***Analyse des besoins en eau et dimensionnement des mares***

La méthodologie de l'estimation des besoins a suivi le cheminement ci-après :

- Estimations des besoins en eau (besoins pastoraux, les besoins domestiques etc.) ;
- Estimations des pertes d'eau (évaporation, infiltration) ;
- Dimensionnement des ouvrages en tenant compte du bilan des besoins en eau et des pertes d'eau.

- ***Etude d'impact environnemental***

Cette étude n'a pas la prétention de faire une évaluation environnementale de l'aménagement mais il s'agissait de faire ressortir ce qui pourrait se présenter comme impacts positifs ou négatifs et de préparer des mesures d'atténuation ou des renforcements des effets positifs de l'aménagement.

IV.RESULTATS

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

VI.1. Etudes topographiques

VI.1.1. Plan topographique de la mare de Kokénè (Sokoura)

A l'issue du plan topographique ci-dessous, il s'avère qu'après calcul de différence entre les cotes (maximale et minimale), la dénivelée de la mare de Kokénè (Sokoura) avant le surcreusement est de 0,95 m.

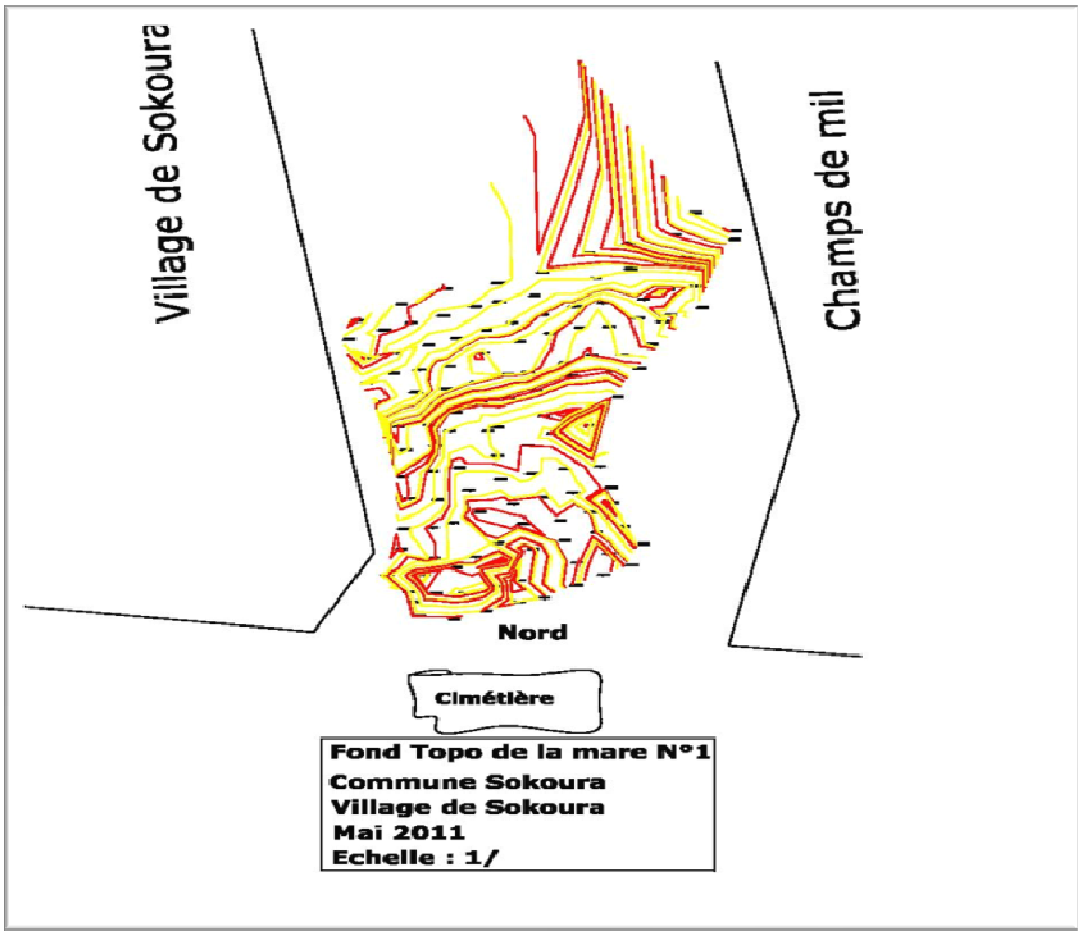

Figure 3 : Carte topographique de la mare de Kokénè (Sokoura)

Source : Présente étude

IV.1.2. Plan topographique de la mare de Tago (Boulel)

La dénivelée de la mare de Tago (Boulel) est de 1,20 m avant le surcreusement, obtenue par la différence des cotes (maximale et minimale) après le levée topographique.

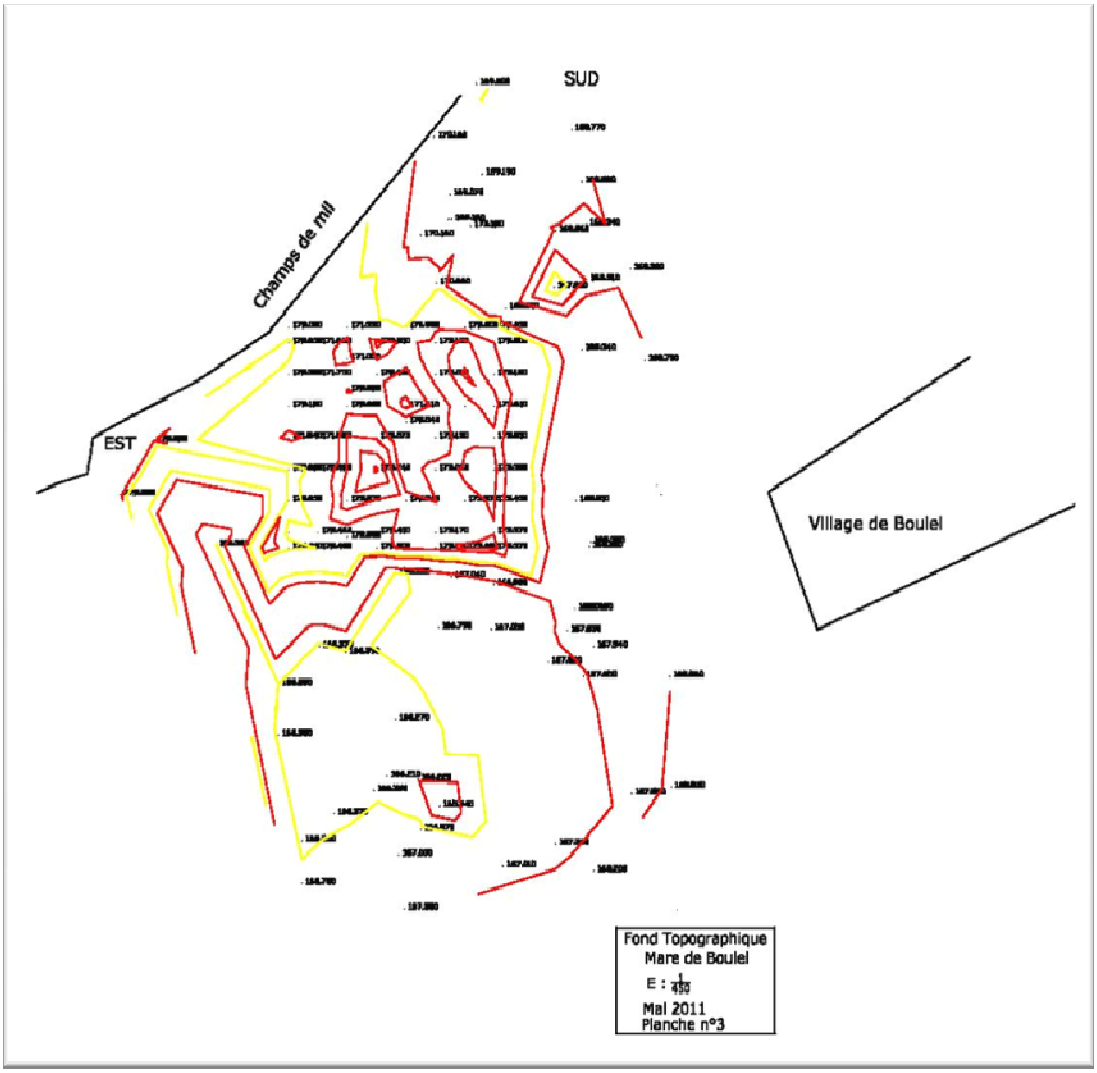

Figure 4 : Carte topographique de la mare de Tago(Boulel)

Source : Présente étude

IV.2.Etudes géotechniques

A l'issu de cette étude différentes couches de sol ont été distinguées dont les tableaux ci-dessous présentent leurs profondeurs.

Tableau I : Récapitulatif des résultats géotechniques de la mare de Kokénè

	Puits des Sondages							
	S1 (150 cm)		S2 (150 cm)		S3 (150 cm)		S4 (150 cm)	
Couches	Profondeur (cm)	Observation	Profondeur (cm)	Observation	Profondeur (cm)	Observation	Profondeur (cm)	Observation
C1	0 - 20	Couche végétale	0 - 20	Couche végétale	0 - 20	Couche végétale	0 - 20	Couche végétale
C2	20 - 35	Argile compacté	20 - 50	Argile compacté	20 - 110	Argile gravuleuse	20 - 40	Sable limoneux
C3	35 - 115	Cuirasse	50 - 120	Cuirasse			40 - 100	Cuirasse
C4	115 - 145	Roche semi dure	120 - 150	Roche semi dure	110 - 150	Roche semi dure	100 - 150	Roche semi dure

Source : Présente étude

Les coupes géotechniques des puits de sondages nous montrent que le sol de la présente mare est constitué d'une couche végétale dont l'épaisseur est de 20 cm en surface suivie d'une couche d'argile compacté de 30 cm, d'une couche de cuirasse d'environ 60 cm d'épaisseur à partir de 0,40 m de profondeur et d'une dernière couche de roche semi dure ayant 30 à 50 cm d'épaisseur. Cette couche semi rocheuse se situe à 1m de profondeur.

Tableau II : Récapitulatif des résultats géotechniques de la mare de Tago

	Puits des Sondages							
	S1 (120 cm)		S2 (150 cm)		S3 (150 cm)		S4 (120 cm)	
Couches	Profondeur (cm)	Observation	Profondeur (cm)	Observation	Profondeur (cm)	Observation	Profondeur (cm)	Observation
C1	0 - 20	Couche végétale	0 - 15	Couche végétale	0 - 25	Couche végétale	0 - 15	Couche végétale
C2	20 - 45	Sable limoneux	15 - 30	Cuirasse	25 - 45	Argile compacté	15 - 30	Sable limoneux
C3	45 - 120	Argile compacté	30 - 85	Argile compacté	45 - 70	Cuirasse	30 - 120	Argile
C4			85 - 150		70 - 150	Argile compacté		

Source : Présente étude

Les coupes géotechniques des sondages présentent un sol constitué d'une couche végétale dont l'épaisseur varie de 15 à 20 cm en surface suivie d'une couche sableux limoneuse de 15 cm d'épaisseur à partir de 20 cm de profondeur et enfin de l'argile compacté dont l'épaisseur est de 80 cm à partir de 40 cm de profondeur.

IV.3.Etudes hydrologiques

IV.3.1.Caractéristiques des Bassins versants

Tableau III : Caractéristiques hydro morphologiques des Bassins versants

Paramètres	Symbole	Formules ou méthodes	Unités	Sokoura	Boulel
Superficie	S	Obtenue à partir de MapInfo V.8.5 et Arc view 3.a	km^2	6	4
Périmètre	P	Obtenue à partir de MapInfo V.8.5 et Arc view 3.a	km	10	8
Indice de compacité	Ic	$0,28P/S^{1/2}$	m/km	1,14	1,12
Longueur du rectangle équivalent	L	$[P+ (P^2-16*S)^{1/2}]/4$	km	3	2
Indice de pente global	Ig	$\Delta H/L$	m/km	8	2
Dénivelé spécifique	Ds	$Ig*S^{1/2}$	m	20	4

Source : Présente étude

IV.3.2.Etudes de pluies

Tableau IV : Récapitulatif des valeurs caractéristiques des pluies annuelles

Avec un échantillon de trente et un (31), l'ajustement, à la loi normale de GAUSS, on obtient avec un intervalle de 80%, les résultats ci-après :

Fréquence	0,01	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,99
Période de retour (années)	100 (sèches)	10 (sèches)	5 (sèches)	2	5 (humides)	10 (humides)	100 (humides)
Pluies annuelles(mm)	312,48	424,18	470,9	560,4	645,45	696,2	808,2

Source : Présente étude

Tableau V : Récapitulatif des valeurs caractéristiques des pluies maximales journalières

L'ajustement de trente et un (31) valeurs extrêmes à la loi de GUMBEL avec un intervalle de confiance de 80% a donné les principaux résultats suivants :

Fréquence	**0,1**	**0,2**	**0,5**	**0,8**	**0,9**
Période de retour (années)	10 (sèches)	5 (sèches)	2	5 (humides)	10 (humides)
Pluies maximales journalières (mm)	106,8	110,7	122,2	132,3	140,4

Source : Présente étude

IV.3.3.Etudes des crues

Tableau VI : Récapitulatif des caractéristiques physique de la crue du projet

Village	**P_{10}**	**S (km^2)**	**A**	**α_{10}**	**Tb_{10}**	**Qr_{10}**	**Q_{10}**
Sokoura	85 mm	6	0,89	2,6	340 min	14,8 m^3/s	16,6 m^3/s
Boulel	87,4 mm	4	0,92	2,6	310 min	19,7 m^3/s	22 m^3/s

Source : Présente étude

Ne disposant pas d'aucun document de référence, et compte tenu des caractéristiques du basin versant. Nous avons retenu respectivement les valeurs de (16,6 et 22 m^3/s**)** de la crue décennale pour vérifier les conditions de remplissage des mares (Sokoura et Boulel).

IV.3.4.Apports liquides

Tableau VII : Récapitulatif du calcul des apports liquides

Village	Année caractéristique	Décennale sèche	Quinquennale sèche	Année moyenne	Quinquennale humide	Décennale humide
Sokoura	Précipitation (mm)	424	470	560	645	696
	Coefficient d'écoulement (%)	4	4,6	6	7	8,6
	Lame écoulée (mm)	17	22	34	46	60
	Volume écoulé (m^3)	102 000	132 000	204 000	276 000	360 000
	Année caractéristique	Décennale sèche	Quinquennale sèche	Année moyenne	Quinquennale humide	Décennale humide
Boulel	Précipitation (mm)	424	470	560	645	696
	Coefficient d'écoulement (%)	4	4,6	6	7	8,6
	Lame écoulée (mm)	17	22	34	46	60
	Volume écoulé (m^3)	68 000	88 000	136000	184 000	240 000

Source : Présente étude

Comme le montrent les résultats des estimations du tableau ci-dessus, les bassins-versants de thalwegs au droit des exutoires considérés drainent des quantités relativement importantes d'eau. Au vu de la taille assez modeste généralement adoptée pour les mares, les ouvrages ne pourront facilement se remplir qu'en année humide par contre en années sèches, le remplissage s'avère difficile (années de mauvaise pluviométrie).

IV.3.5.Apports solides

Tableau VIII : Récapitulatif du calcul des apports solides

L'eau qui ruisselle sur les bassins versants entraîne avec elle des matériaux solides qu´elle arrache tout au long de son parcours. Le tableau ci-dessous indique les valeurs calculées par les deux formules pour une année.

Dégradation annuelle m^3		
Village	GOTTSHALK	CIEH-EIER
Sokoura	1866	2760
Boulel	904	1866

Source : Présente étude

IV.4. Besoins en eau et dimensionnement des mares

IV.4.1. Besoins en eau

- ***Besoins pastoraux***

Tableau IX : Récapitulatif des besoins pastoraux du cheptel en contre saison

Village	Nbre UBT	Cons/UBT/Jour	Durée	Volume (m^3)
Sokoura	3000	0,04 m^3	240 Jours	28 800
Boulel	3500			33 600

Source : Présente étude

N.B :1UBT (Unité de Bétail Tropical) = 5 petits ruminants

Nous signalons que le nombre du cheptel a été obtenu après la moyenne faite sur base d'une enquête et discussion avec les populations. Ces besoins sont étroitement liés à la population animale qui fréquente le point d'eau et ont été estimés en tenant compte du cheptel du village, d'une partie du cheptel des villages environnants, du cheptel en transhumant qui pourrait s'abreuver au cours de son passage.

- ***Besoins domestiques***

Tableau X : Récapitulatif des besoins domestiques en contre saison

Village	Nbre d'équipe/jour	Cons journalière/équipe	Durée	Volume (m^3)
Sokoura	3	2 m^3	240 Jours	1 440
Boulel	1			480

Source : Présente étude

Il s'avère que les besoins domestiques en eau sont plus centrés sur la fabrique des briques en banco et la réhabilitation des maisons en contre saison tandis que la consommation humaine est assurée par des puits.

❖ ***Besoins agricoles***

La pratique du maraichage au cours de la période de contre saison a été citée par les populations bénéficiaires comme une des activités qui pourrait être menée autour des points d'eau projetés. Cependant, les superficies exploitables attendues n'ont pas été prédéfinies d'où la difficulté d'estimation des quantités d'eau nécessaires à la pratique de cette activité.

❖ ***Pertes d'eau***

Partant de l'hypothèse de François GADELLE, les pertes d'eau (évaporation+infiltration) dans la région sahélienne sont de l'ordre de 1cm par jour d'Octobre à Février et 1,5cm/jr de Mars à Mai pour la période sèche allant d'Octobre à Mai, le cumul des pertes est d'environ 285 cm.

IV.4.2.Dimensionnement des mares

Tableau XI : Récapitulatif des principales caractéristiques de dimensionnement

Caractéristiques/Sites	Kokénè (Sokoura)	Tago (Boulel)	Unités
Longueur au plafond (L_1)	280	200	m
Largeur au plafond (l_1)	180	180	m
Pente des talus	1/3	1/3	v/h
Profondeur du bassin	3	5	m
Longueur en gueule (L_2)	294	218	m
Largeur en gueule (l_2)	184	186	m
Capacité de stockage	159 000	154 000	m^3
Volume déblai	110 000	153 000	m^3

Source : Présente étude

Le tableau ci-haut récapitule les principales caractéristiques de la capacité de stockage des différents ouvrages projetés, obtenus après divers calculs et à l'issu de ce tableau les courbes hauteur-volume ont été dressées et obtenues par l'utilisation de la formule dite des tonneliers (F.GADELE).

IV.5. Etudes d'impact environnementals

Les effets (positifs ou négatifs) de ces actions concernent l'environnement biophysique, socio-économique et dont l'analyse a consisté à caractériser les impacts en fonction de leur intensité et de leur durée. Le tableau ci-dessous indique cette caractérisation.

Tableau XII. Caractérisation de l'impact en fonction de l'intensité et la durée

Intensité de l'impact	Durée
Important	Temporaire
	Durable Non permanente
	Permanente
Moyen	Temporaire
	Durable Non permanente
	Permanente
Faible	Temporaire
	Durable Non permanente
	Permanente

Source : Présente étude

IV.5.1. Impacts sur l'environnement biophysique

Au niveau de l'environnement biophysique, les impacts concernent la végétation, l'eau de surface, l'eau souterraine et le sol.

- ***Impact sur la végétation***

Au niveau de la zone des mares, l'extraction de la terre entrainera la destruction des plantules compromettant ainsi la régénération naturelle sur les sites. Les travaux auront également un effet négatif indirect par la destruction des arbres et arbustes situés dans l'emprise des ouvrages (cas de la mare de Tago). Aussi le compactage du sol à certains endroits par le passage des engins ainsi que les huiles déversées empêcheront certaines espèces herbeuses de régénérer .Dans l'ensemble, l'aménagement des mares aura un impact négatif, important et durable sur la végétation ligneuse.

❖ ***Impact sur le sol***

Il y aura une forte réduction de la dynamique érosive à cause du ralentissement du ruissellement. Cela favorisera le dépôt de matériaux fins (argile et limon) et de matière organique (débris végétaux en décomposition). Cet impact sur les sols sera positif faible et durable. Cependant, le remaniement du sol pendant les travaux (terrassement, emprunts, carrières d'agrégats) ainsi que les déplacements incessants et les huiles déversées des engins et véhicules auront un impact négatif moyen et durable sur le sol de chaque site.

❖ ***Impact sur l'eau de surface***

L'aménagement des mares va favoriser la disponibilité de l'eau en quantité pour les activités agro-pastorales et humaines. On aura par conséquent des retenues d'eau permanentes ou semi permanentes, l'impact sera positif, important et permanent.

❖ ***Impact sur l'eau souterraine***

Une partie des eaux de ruissellement stockées dans la retenue s'infiltrera dans le sol et par conséquent alimentera la nappe phréatique dont la remontée à moyen ou long terme favorisera la création des puits, l'impact sur la nappe est positif, majeur et permanent.

IV.5. 2.Impacts sur l'environnement socio-économique

Concernant cet aspect, l'identification et l'analyse des impacts ont porté sur les systèmes de production, l'organisation sociale et économique.

❖ ***Impact sur les systèmes de production***

L'emprise des travaux entrainera une perte de superficie au niveau des systèmes de production animale et végétale. Cette perte se situe au niveau des pâturages de chaque site. L'impact de l'aménagement des mares sur les pâturages sera négatif, faible et durable. Mais la présence des retenues d'eau permettra l'abreuvement des animaux, ce qui contribuera à l'essor de l'élevage et de façon indirecte à l'agriculture à traves de la fumure organique produite par les animaux. L'impact de l'aménagement sur les systèmes de production animale et végétale sera positif, important et permanent.

❖ ***Impact sur la santé***

La présence de l'eau constituera en elle-même un effet psychologique sur la population bénéficiaire qui en sera satisfaite. Cet impact sera positif, permanent et majeur. Cependant l'aménagement de chaque mare aura un impact négatif, important et permanent sur la santé à cause du risque que les populations en fassent une source d'approvisionnement en Eau, de noyade, des maladies hydriques liées à la consommation de l'eau sans oublier la prolifération des moustiques qui est auteur du paludisme etc.

❖ ***Impact sur l'emploi***

L'installation des chantiers et les travaux d'aménagement auront un effet positif important mais temporaire sur l'emploi pour la population de la commune de Sokoura. Pour l'emploi direct, il s'agit du recrutement de la main d'œuvre non qualifiée. Quant à l'emploi indirect, le petit commerce (restauration, commerce du tabac et de cola, etc.) va se développer autour des chantiers le temps qu'ils dureront. En somme l'impact sur l'emploi sera positif, important mais temporaire.

❖ ***Impact sur les activités commerciales***

L'aménagement des mares aura un impact positif important et permanent sur les activités commerciales au niveau de chaque site. En général, il y aura une amélioration significative du flux des échanges entre la commune de Sokoura et le reste de commune voisine. Il s'agit notamment de la production agricole et du bétail dans les marchés environnants.

IV.5.3.Mesures d'atténuation et de renforcement des impacts

Il s'agit de réduire autant que possible les impacts négatifs de l'aménagement s'il ya des impacts résiduels, d'où nous proposons des mesures d'atténuation également le projet aura aussi des impacts positifs qu'il s'évertuera à renforcer.

❖ ***Mesures d'atténuation des impacts négatifs***

(a).<u>Mesures d'atténuations des risques divers</u>

Il s'agit des risques de pollution de l'eau et du sol par les huiles usées de vidange des engins et des risques d'accident. En ce qui concerne la pollution, il faudra imposer dans le cahier de charges, la collecte de ces huiles en vue de leur recyclage. Il faut également préconiser la mise en place d'un système de collecte des déchets, leur évacuation et leur élimination (décharge

ou incinération). Il est nécessaire de réhabiliter les puits et les forages des villages et /ou renforcer les points d'eau potable pour empêcher la consommation de l'eau des mares par les populations.

(b).Mesures d'atténuations sur le sol

Le cahier de charge insistera sur l'obligation de l'entreprise en charge des travaux de remettre les sols en état après les travaux surtout aux environs des mares et des ouvrages annexes. A ce niveau, la terre végétale devra être séparée de l'argile ou de la latérite. Après les travaux, des dispositions devront être prises pour remettre ces sites en état avec de la terre végétale.

(c).Mesures d'atténuations sur la végétation

L'abattage des arbres et arbustes situés dans l'emprise des travaux fournira du bois dont la valorisation contribuera à réduire la pression sur le couvert végétal liée à l'exploitation du bois de chauffe ou de service au niveau de la zone.

Pour limiter les impacts négatifs de l'aménagement il faudra :

- Mener des actions d'éducation sanitaire basées sur la sensibilisation afin d'inciter la population à l'abandon de la consommation des eaux des mares non potable et à l'utilisation des puits modernes et des forages ;
- Aménager des abreuvoirs ainsi qu'une piste d'accès pour les éleveurs ;
- Amener l'entreprise responsable des travaux à respecter certaines bonnes pratiques environnementales ;

Elles correspondent à une démarche de qualité dans l'installation et la réalisation de différentes activités de l'entreprise allant vers un plus grand respect de l'environnement dans lequel elle interviendra. Même si elles peuvent paraitre parfois dérisoires, l'application de telles pratiques permettrait d'éviter, à moindre coût, la survenue par la suite d'importantes nuisances qui nécessiteraient l'engagement de crédits élevés pour la correction.

❖ ***Mesures de renforcements des impacts positifs***

Sur le plan socio économique, l'impact sur l'emploi et les activités économiques engendrées par l'aménagement pourra être renforcé par la promotion des actions d'amélioration de la productivité et de la rentabilité des cultures en particulier celles de contre saison et par la formation en techniques culturales et la pratique de la culture maraichère au profit des populations bénéficiaires.

IV.6. Devis descriptifs, quantitatifs et estimatif de la réalisation des mares

Tableau XIII : Devis estimatif de la mare de Kokénè

Devis estimatif de la mare de Kokénè				
Désignation	Unités	Quantités	Prix unitaire	Prix total
Installation et replie du chantier	FF	1	1500 000	1500 000
Sous-total				**1 500 000**
Implantation de l'ouvrage selon le devis descriptif et plan d'exécution, piquetage	FF	1	400 000	400 000
Préparation terrain, débroussaillage et décapage de 20 cm emprise de l'ouvrage	m^2	55 100	50	2 755 000
Implantation de la digue	ml	920	250	230 000
Sous-total				**3 385 000**
Excavation				
Fouille avec mise en remblai	m^3	110 000	1 500	165 000 000
Remblai pour digue de protection	m^3	1 518	1 500	2 277 000
Sous-total				**167 277 000**
Protection				
Perré sec de protection	m^3	80	1 500	120 000
Plantation d'épineux sur buttes	U	20	5 000	100 000
Sous-total				**220 000**
TOTAL				**172 382 000**

Le présent devis est arrêté à la somme **cent soixante-douze millions trois cents quatre vingt deux milles** (172 382 000) francs cfa.

Tableau XIV : Devis estimatif de la mare de Tago

Devis estimatif de la mare de Tago				
Désignation	Unités	Quantités	Prix unitaire	Prix total
Installation et replie du chantier	FF	1	1000 000	1000 000
Sous total				**1000 000**
Implantation de l'ouvrage selon le devis descriptif et plan d'exécution, piquetage	FF	1	400 000	400 000
Préparation terrain, débroussaillage et décapage de 10 cm emprise de l'ouvrage	m^2	39 900	50	1 995 000
Sous total				**2 395 000**
Excavation				
Fouille avec mise en remblai	m^3	153 000	1 500	229 500 000
Sous total				**229 500 000**
Protection				
Perré sec de protection	m^3	80	1 500	120 000
Plantation d'épineux sur buttes	U	20	5 000	100 000
Remblais pour tapis d'étanchéité	m^3	1 600	1 500	2 400 000
Sous total				**26 200 000**
TOTAL				**259 095 000**

Le présent devis est arrêté à la somme **deux cents cinquante-neufs millions quatre- vingt quinze mille** (259 095 000) francs cfa.

Après différents calculs et le dimensionnement des mares, les devis quantitatifs (avant métrés) ci-hauts ont été établis en vue de déterminer les quantités de travaux nécessaires à la réalisation de chaque mare. Les prix unitaires adoptés sont fonction des conditions particulières de réalisation du projet qui est caractérisé principalement par : l'éloignement de la zone des travaux et les difficultés d'accès aux sites d'agrégats. Cependant le prix de revient moyen du m^3 d'eau stockée est de **45** FCFA/m^3 obtenu par la formule : Cout de l'investissement/quantité d'eau stockée pour une durée de vie limitée à 30 ans. Ce qui donne en moyenne : 431 477 000 FCFA / (159 000+154 000) m^3*30 = 45 FCFA/m^3 d'eau stockée.

- ***Planning d'exécution***

Le planning d'exécution permet de connaitre le volume des travaux à réaliser, le nombre de jours (mois) nécessaires pour l'exécution des différentes parties des ouvrages. Et dans notre cas présent, le délai de réalisation des ouvrages est fixé à 4 mois. Ce qui impose une organisation de travail pour une équipe donnée. Ainsi nous proposons le planning ci-dessous :

Activités ou taches	**Période d'exécution des travaux**			
	Février	**Mars**	**Avril**	**Mai**
Installation du chantier	Deux semaines →			
Implantation des ouvrages	Six semaines →			
Débroussaillage et décapage 0,1m	Trois semaines →			
Fouille avec mise en remblai avec talus		Cinq semaines →		
Protection des berges des mares			Une semaine et demie →	
Perré sec protection de la rampe			Trois semaines →	
Plantation d'épineux sur buttes				Deux semaines →
Remblais pour tapis d'étanchéité			Quatre semaines →	
Repli du chantier				Deux semaines →

V. DISCUSSION ET ANALYSES

Le processus d'aménagement hydro-agricole présente des avantages et des inconvénients qui sont :

Avantages

- Permet de stocker une grande quantité d'eau sur une longue partie de l'année ;
- L'eau stockée permet (le développement des activités de contre saison, l'accès à l'eau est facile, l'abreuvement direct des animaux) ;
- Les études sommaires suffisent pour l'élaboration d'un dossier d'appel d'offre des travaux ;
- Contribution et participation massive des populations bénéficiaires à l'exécution des travaux.

Inconvénients

- Eau susceptible d'être polluée ;
- Introduction des problèmes de santé ;
- Nécessite des études approfondies ;
- Conflits éleveurs-agriculteurs ;
- Nécessite beaucoup de précautions pour leur durabilité.

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 issues des méthodes empiriques sans d'autres valeurs de comparaisons issues des mesures pratiques restent des estimations avec une certaine incertitude. En résumé, il ressort des résultats obtenus le constat suivant :

- Les études topographiques ont consisté en un état des lieux et l'élaboration des plans topographiques à partir des données obtenues. A l'issue des travaux des terrains et du report au bureau, l'examen des résultats obtenus (les plans topographiques ainsi que le plan des masses à l'échelle de 1/450) confirment que les sites destinés à l'aménagement sont des bas fonds sans lit mineur marqué ce qui permet d'envisager à priori les possibilités d'aménagement par la réalisation du surcreusement des mares existantes du fait que les dénivelées obtenues par la différence des cotes avant le surcreusement des mares varient entre 0,95 à 1,20 m.

- Les études géotechniques ont consistées sur terrain à faire des puits de 1m de profondeur à ciel ouvert et d'en prélever des échantillons pour les analyses au laboratoire de 2iE et ensuite d'identifier le sol de la zone du projet et enfin la recherche d'une zone d'emprunt des matériaux argileux si nécessaires. Partant des observations faites à l'œil nu sur les profils de trous de sondages, différentes caractéristiques structurales ont été rencontrées, ces caractéristiques ont été basées sur la texture et la coloration des couches des sols. Il s'avère que de manière générale la texture des sites à aménager est constituée à environ une profondeur moyenne de 1 à 1,20 m du terrain naturel de l'argile compacté et de l'argile graveleuse ce qui nous pousse à dire que ces types de sols ne laissent pas facilement passer l'eau d'où une bonne rétention d'eau pendant une certaine période malgré le degré d'évaporation élevée de la zone. Cependant au delà de cette profondeur c'est une roche semi dure qui est rencontré (cas de Sokoura). Des analyses faites au laboratoire, il ressort que de 35% des éléments > 0,08 mm (sols granulés) et 64% d'éléments sont < à 0,08m (sols fins). Cela nous permet de confirmer sous réserve d'autres études ultérieures que le sol de la zone projet peut être aussi utilisé pour le compactage de la digue et des fonds des mares.

- Trois 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 pour le dimensionnement des ouvrages et d'autre part des volumes d'écoulements (apports) interannuels des bassins versants ainsi que les conditions de remplissages des mares nécessaires à l'estimation du potentiel de développement hydraulique (FAO, 1994). Les bassins versants (Sokoura et Boulel) concernés par le présent projet ont des superficies respectivement de 6 et 4 km² présentant des formes compactes avec un réseau hydrographique fortement dégradé. Ces bassins versants connaissent généralement des crues brutales dues au faible temps de concentration. Les valeurs assez élevées de l'indice de pente global **(**Ig**)** traduit un relief moyennement accidenté des bassins versants, 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 peu accidenté à cause de l'existence des derniers contreforts du Mont (Plateau Dogons, Plaine Seno). Et les valeurs de leurs dénivelées spécifiques permettent de les classés « relief faible ».

- L'examen des relevées pluviométriques montre que la quantité moyenne annuelle de pluie recueillie sur la période considérée est de 560 mm (moyenne de l'année 1980 à 2010). L'essentiel de la pluviométrie annuelle se concentre sur une période de 4 mois soit Juin à Septembre, avec une pointe dans le mois de juillet et d'Août.
- D'une façon générale, on remarque les années les moins pluvieuses dans les trois décades précisément les années 1982 (381,6), 1983 (321,6) ,2004 (363,1) qui ont une baisse d'environ 36 à 43 % par rapport à la pluviométrie moyenne. Et les fortes valeurs ont été observée dans les années 1988 (700) ,1994 (710) ,1998 (714) ,2010 (737). Cependant, les restes des années la pluviométrie à osciller autour de la moyenne annuelle.
- 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 à la loi de GAUSS (loi Normale) tandis que celles des pluies journalières maximales s'ajustent aussi assez bien à la loi de GUMBEL. Sur les figures 10 et 11, nous constatons que plus de 80 % des valeurs de l'échantillon se trouve à l'intérieur de l'intervalle de confiance tracé. Seuls quelques points se trouvent en dehors de l'intervalle, alors nous pouvons dire que les lois utlisées sont acceptables. La valeur de la crue decenale qui parvient à l'exutoire a permit de se faire une idée du debit succeptible d'être dérivé vers les mares mais aussi le débit contre lequel il faut se proteger (crue decennale).
- Compte tenu des caractéristiques et des ouvrages, et ne disposant pas d'aucun document de référence, nous avons retenu des valeurs des crues décennales respectivement de l'ordre de 16,6 et 22 m^3/s pour vérifier les conditions de remplissage des mares.
- Après examen des différents bassins versants types étudiés en Afrique de l'ouest et particulièrement au Mali, celui de Felleol a été adopté pour l'estimation des écoulements drainés par les bassins versants étudiés. Nous obtenons un coefficient d'écoulement de 4% en année décennale sèche contre 6% en moyenne. Nous constatons qu'au vu des volumes (besoins d'eau en périodes sèches) que les ouvrages (mares) ne pourront se remplir facilement qu'en année humide.

- L'analyse des besoins en eau a permis d'évaluer le volume d'eau nécessaire pouvant satisfaire les besoins en eau de la population bénéficiaire durant la période sèche. Partant de l'hypothèse que les pluies s'arrêtent en fin Octobre, les besoins en eau ont été estimés sur une période de 8 mois soit 240 jours. Certes, il ne nous a pas été facile de déterminer avec exactitude les quantités journalières prélevées sur chacune des mares. Mais, suite aux différents entretiens (enquêtes), des moyennes ont été tiré sur la base des estimations faites par la population.

- En ce qui concerne les besoins pastoraux, le cheptel a été estimé à environ 3000 et 3500 en tenant compte du cheptel du village, d'une partie du cheptel des villages environnants, du cheptel en transhumant qui pourrait s'abreuver au cours de son passage dont la consommation journalière est de 0,04 m^3/UBT/jour et les volumes respectifs sont consignés dans le tableau.

- Par rapport aux besoins domestiques, ces derniers sont plus centrés sur la fabrique des briques en banco et la réhabilitation des maisons en contre saison. Et ces besoins ont été estimés à 10 futs/équipe/jour soit 2 m^3/équipe/jour après échange avec les populations bénéficiaires à raison de 1 à 3 équipes par jour. Tandis que la consommation humaine est assurée par les puits placés de part et d'autres du village.

- Concernant les besoins agricoles, les superficies exploitables attendues n'ont pas été prédéfinies au niveau des villages d'où les difficultés d'estimation des quantités d'eau nécessaires à la pratique de cette activité.

- Quant au dimensionnement des mares, vu les profondeurs moyennes variant entre 0,95 et 1,20 m sur l'ensemble de leurs emprises (mares) avant le surcreusement, le volume actuel mobilisable est de l'ordre respectif de 49 715 m^3 et 45 900 m^3. Ces quantités appréciables sont soumises à une évaporation qui est d'autant plus importante que le plan d'eau est étendu et peu profond ce qui ne suffit pas pour la satisfaction des besoins. Les mares ont été dimensionnées en tenant compte du bilan des besoins en eau, des pertes d'eau et de manière à stocker une quantité relativement importante d'eau durant la saison sèche tout en limitant au maximum les pertes(évaporation+infiltration) grâce aux formules empiriques et aux itérations faites sur la feuille Excel ainsi que l'établissement des courbes hauteur-volume.

- Concernant les contraintes constructives, la forme (parallélépipédique) et les dimensions des mares ont conditionnées le volume de surcreusement (déblai) déterminé par les caractéristiques imposées par la stabilité des talus (3h/1v).
- A l'issu de ces calculs, le creusement d'un volume de 110 000 m^3 concentre la totalité de la mare de Kokénè(Sokoura) sous une profondeur totale de 3 m et ce déblai servira au remblai de la digue de protection prévue. Tandis que 153 000 m^3 contre une profondeur totale de 5 m devra couvrir les besoins envisagés pour la mare de Tago(Boulel).
- La réalisation d'un projet d'aménagement concerne un espace particulièrement vaste dont l'équilibre doit être préservé. Pour préserver cette harmonie de la nature, il convient de déceler les conséquences de l'aménagement sur l'environnement pendant les travaux et post aménagement. Afin de prendre des mesures préventives nécessaires pour enrayer ou limiter ces impacts.
- Le projet envisagé est celui de l'aménagement des mares de la commune de Sokoura par la technique de surcreusement. Il aura certes, une influence bénéfique sur les villages bénéficiaires, mais ses incidences négatives sur l'environnement ne sont pas à occulter. L'exécution du projet entraînera des impacts négatifs et positifs qui ont été identifiés et analysés. Les impacts négatifs se répercuteront aussi bien sur le milieu biologique que sur le milieu humain (recrudescence de maladies,…). Les effets de ces impacts seront rapidement réduits par la mise en œuvre des mesures d'atténuation. Les impacts positifs qui se répercuteront sur l'environnement économique sont plus importants et permanents.
- En effet, l'exécution du projet viendra renforcer la vocation agro-pastorale de la zone dans son ensemble par l'amélioration des conditions favorables au développement des systèmes agricoles et d'élevage. Mais il faut souligner que cet outil ne pourra efficacement jouer son rôle que si les mesures d'accompagnement sont prises en compte au niveau de chaque site.

VI. CONCLUSION

Les résultats de la présente étude constituent une des solutions de l'aménagement qui certes n'ont pas bénéficiés de beaucoup d'informations qu'ils auraient dues, néanmoins ils ont été obtenus sur la base des techniques et méthodes empiriques utilisées en ingénierie. L'étude de faisabilité d'aménagement des mares a abouti à la proposition d'un surcreusement des mares qui constituerait à ne pas douter une bouffée d'oxygène pour l'essor économique des activités agro-pastorales dans cette partie du cercle de Bankass.

Nous ne pouvons ne pas signaler que ce projet est bénéfique et rentable pour la population de la commune de Sokoura. En retour le GWI n'attends pas un profit quelque conque, mais cela n'empêche que la population s'organise pour l'organisation des activités génératrices de revenu avec l'aménagement des mares.

Dans l'optique de l'aménagement en milieu rural et dans le souci que les actions d'aménagement soient appropriables et facilement gérables par les populations bénéficiaires, il a été proposé des ouvrages hydrauliques de technicité simple et rigide, impliquant fortement les populations lors des travaux de réalisation desdits ouvrages.

VII. RECOMMANDATION ET PERSPECTIVES

- **En ce qui concerne les besoins agricoles**

Les besoins agricoles n'ont pas été pris en compte, nous recommandons que les surfaces cultivables soient prédéfinies, les spéculations (cultures maraichères) qui seront faites en vue d'estimer leurs besoins en eau avant les travaux.

- **En ce qui concerne l'exécution des travaux**

Que l'exécution des travaux soit confiée à une entreprise mieux outillée pour que les travaux soient convenablement effectués et la main d'œuvre locale ne participera qu'à des travaux à la hauteur de ses compétences et enfin que les matériaux soient biens sélectionnés pour atteindre les qualités requises.

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

Les estimations des coûts faites dans ce rapport sont d'ordres estimatifs. Une étude plus conséquente saura mieux indiquée les coûts des travaux à réaliser. Nous estimons qu'il est plus bénéfique pour les promoteurs de l'étude d'adopter ces derniers.

- **En ce qui concerne l'exploitation et la gestion des ouvrages**

La forme d'exploitation et la gestion des ouvrages seront déterminantes pour l'entretien et leurs durées de vie. Les mares devront être gérées à l'image des points d'eau, cependant, il ne sera pas nécessaires de créer des comités pour la gestion des mares mais les responsables de villages respectifs qui désormais à la base de toutes les activités dans les villages pourront être mises à contribution pour la gestion des ouvrages.

- **En ce qui concerne l'entretien des ouvrages**

Les matières solides sont arrachées aux bassins versants se déposent dans les mares et y constituent des boues qui réduisent progressivement leur capacité de stockage. Le curage devra être organisé chaque année dès que les mares s'assèchent ou lorsque le niveau d'eau est le plus bas.

D'autres part, des mesures élémentaires peuvent permettre de diminuer les risques de détérioration des ouvrages, il s'agira de :

- D'éviter de parquer les animaux à coté des mares ;
- Ne pas laver les habits et ustensiles de cuisine directement dans les mares ;
- Ne pas aménager de champs aux abords immédiats des mares ;
- Ne pas faire d'enclos d'animaux à proximité des mares.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

1. FAO. (1996) : Crues et apports ; manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicales sèche, bulletin FAO d'irrigation et drainage n°54, 245 p

2. GADELLE, F. (1986) : Hydraulique pastorale et rurale, le surcreusement des mares « Edition 1986 »

3. GUEYE, I. (2010) : Cours de Barrage. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement 2IE . Ouagadougou, Burkina Fasso.

4. GUINDO Issa. (1999) : Etude de faisabilité d'aménagement d'un bas-fond dans le village de Toba 157 p.

5. GWI- Mali. (2008) : Rapport d'étude hydrologique du statut du sous bassin du Sourou.

6. HABA, F. (2000) : Etude de réalisation de deux seuils sur la kossi dans le cadre du projet d'aménagement de la plaine de Kamendena 86 p.

7. ILLA, C (2004) : Etude des potentialités hydrauliques d'aménagement des bas fonds de Foubé au Burkina Faso, 138 p.

8. KARAMBIRI, H. (2010) : Cours d'hydrologie et Analyse fréquentielle. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement (2IE) Ouagadougou, Burkina Fasso.

9. KOUAKOU, M. (2010) : Cours d'étude d'impact environnemental. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement (2IE) . Ouagadougou, Burkina Fasso.

10. SOULGA, Z. (2010) : Cours d'aménagements des bas-fonds. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement (2IE) . Ouagadougou, Burkina Fasso.

11. Projet FEM Volta. (2010):Rapport national du Mali et analyse diagnostique transfrontalière du bassin versant de la volta, 131p

12. PSACS. (2006) : Plan de sécurité alimentaire de la commune de Sokoura (2007-2011)

13. PNUD-Mali. (1990) : Synthèses hydrogéologique du Mali « exploitation, évaluation des ressources en eau souterraine »

14. ZOMBRE, R. (2010) : Cours de Pédologie du sol. Université d'Ouagadougou, Burkina Fasso.

Sites internet

www.google.com

http://fr.wikipedia.org/wiki/Digue ***consulter le 01/07/2011***

http://www.arid-afrique.org/spip.php?page=recherche&recherche=aménagement+hydro-agricole, *consulter le 24/06/2011*

ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706f/x6706f05.htm#91a, *consulter le 22/06/2011*

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

IX. ANNEXES

Annexes I. ETUDES DES BASSINS VERSANTS

I.1.Caractéristiques hydro morphologiques du bassin-versant

- **La superficie du bassin versant**

Les bassins versants de la zone concernée ont été identifiés à partir de Google Earth dont la détermination a été faite sur base de la carte topographique au 1/200.000ème couvrant la zone d'étude notamment le fond topographique de la feuille de Tougan. Les caractéristiques telles que la superficie et le périmètre ont été déterminées à l'aide des outils statistiques dans MapInfo V8.5 ainsi que Arcview 3.a dont : **S = 6 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 = 10 km**

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

C'est la valeur qui permet de caractéristique la forme du bassin versant.

$$\mathbf{Ic = (0{,}28\ P) / S^{1/2} = (0.28*10)/(6^{1/2}) = 1.12}$$

La valeur d'Ic 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, etc.) sur l'écoulement.

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

$$\mathbf{L = [P + (P^2 - 16.S)^{1/2}] / 4 = [10 + (10^2-(16*6))^{1/2}]/4 = 3\ km}$$

- **L'indice global de pente**

$$\mathbf{Ig = (H_5\% - H_{95}\%) / L = (280-256)/3 = 8\ m/km}$$

- **Dénivelé spécifique (Ds)**

Il permet de déterminer la classe du relief du Bassin versant si :

Relief faible	Ds < 50 m
Relief modéré	50 m < Ds < 100 m
Relief fort	100 m < Ds

$Ds = Ig. S^{1/2} = 8 * 6^{1/2} = 20$ m < 50m, Relief faible

N.B : Notons la même procédure a été répété pour le deuxième bassin versant (Boulel).

Figure 5 : Limite du bassin versant de la mare de Kokénè

Figure 6 : Limite du bassin versant de la mare de Tago

Annexe II : ETUDES STATISTIQUES DES PLUIES

- **Analyse de pluies**

Les données pluviométriques utilisées sont celles fournies par le service d'agriculture de la commune de Sokoura de la période 1980-2010 soit 31 ans. Elles ont été traitées à l'aide des logiciels Hydrolab et vérifiées à l'aide d'un tableur d'Excel. Les échantillons traités sont représenté sur les figures suivantes :

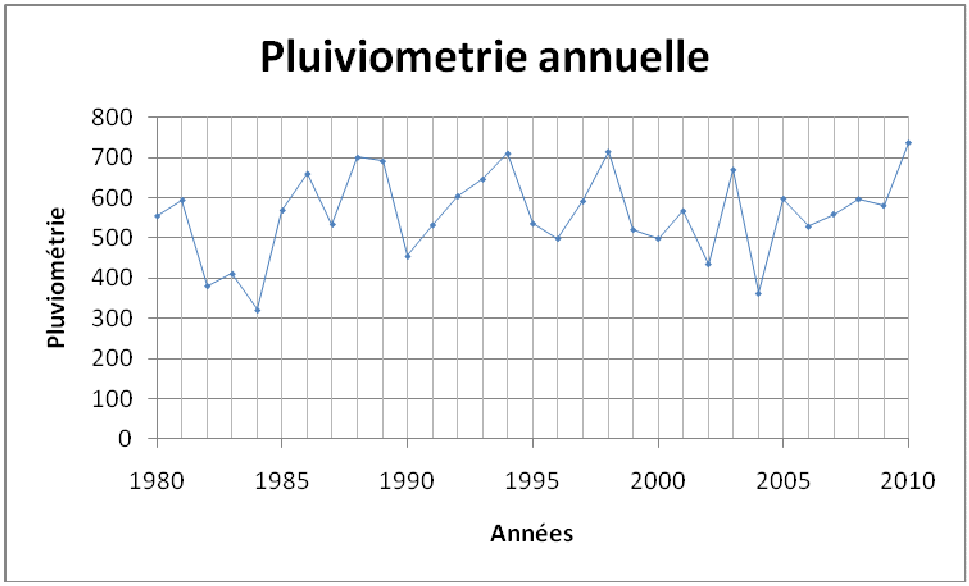

Figure 7: Pluviométries annuelles de la commune de Sokoura

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

Tableau XVI : Paramètres descriptifs de l'échantillon des pluies annuelles

Désignations	Valeurs	Unités
Moyenne	560	mm
Médiane	568	mm
écart type	106	mm
Pluie maximale	737	mm
Pluie minimale	322	mm

Les valeurs : moyenne = 560 mm, médianne = 568 mm étant peu différentes, nous supposons que la distribution est normale ou gaussienne,on se propose maintenant d'ajuster une loi normale (loi de GAUSS) sur l'échantillon.

- **Ajustement à la loi normale ou loi de Gauss des pluies annuelles**

Ce commentaire de calcul concerne l'ajustement (numérique) par le calcul d'une droite sur les points. Pour cela, nous avons utilisé la moyenne (560 mm) et l'écart-type (106 mm) de notre échantillon, puis calculé les coordonnées de deux points assez éloignés (F = 0.05 et F = 0.95).

Figure 8: Présentation de F(Xi) à la de GAUUSS

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. Seul un point se trouve en dehors de l'intervalle, d'où la loi utlisée peut etre donc validée.

- **Analyse de la pluviométrie maximale journalière – Présentation de l'échantillon**

Tableau XVI : Paramètres descriptifs de l'échantillon de la pluie maximale journalière

Désignations	Valeurs	Unités
Moyenne	122	mm
Médiane	123	mm
écart type	14	mm
Pluie maximale	152	mm
Pluie minimale	93	mm

Les valeurs : moyenne = 122 mm, écartype = 14 ,on se propose maintenant d'ajuster la loi de GUMBEL sur l'échantillon.

- **Ajustement à la loi de Gumbel des pluies maximales journalières**

Cette interprétation de calcul a concerné un ajustement par la méthode graphique et a consisté à créer un graphique dont les axes sont conçus de façon que la fonction de repartition de la loi étudié soit répresenté par une droite à partir de 31 échantillons pour determiner les parametres de la loi de Gumbel. Pour cela, nous avons utilisé la moyenne (mm) et l'écart-type (mm) de notre échantillon, puis calculé les coordonnées de deux points assez éloignés (F = 0.05 et F = 0.95).

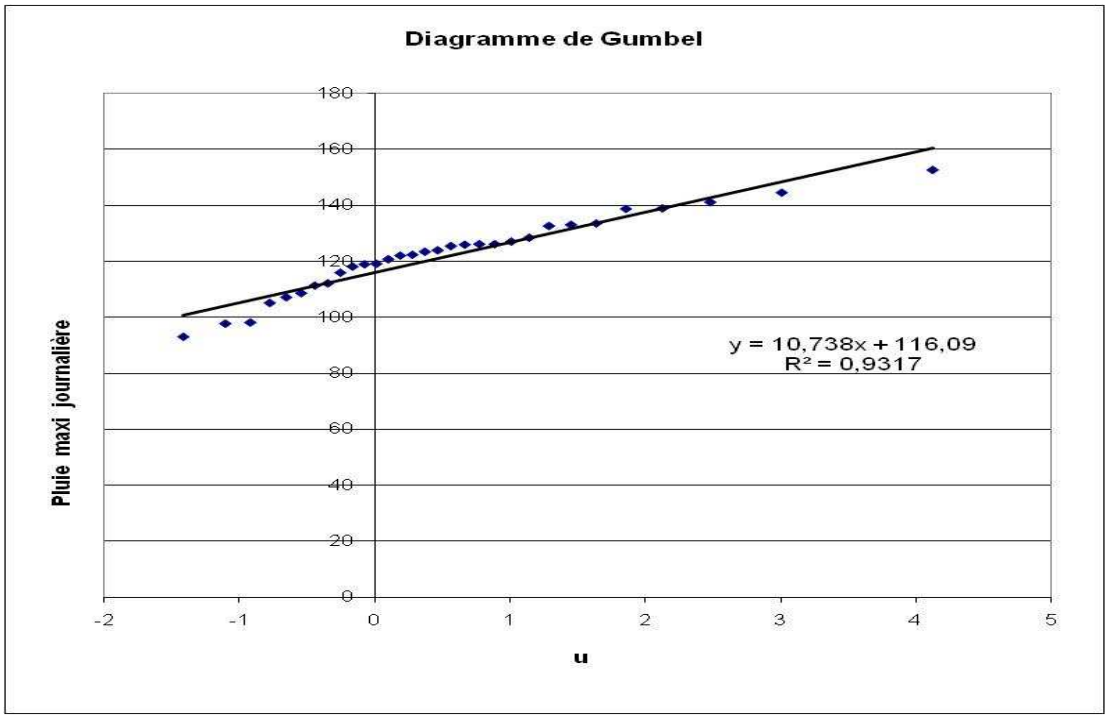

Figure 9: Présentation de F(Xi) à la loi de GUMBEL

Avec **a** : 116 et **b** : 10,7

NB : Al'issu de ce graphique, 80 % des valeurs de l'échantillon se trouve à l'intérieur de l'intervalle de confiance tracé. Seuls deux points se trouvent en dehors de l'intervalle,par conséquent la loi utlisée peut etre donc validée.

Annexe III : 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 ORSTOM.
- La méthode CIEH

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:

$$\mathbf{Qr_{10} = A*P_{10}*Kr_{10}*\alpha_{10}*S / Tb_{10}}$$

Les différents paramètres sont définis comme suit:

A: coefficient d'abattement

$\mathbf{P_{10}}$: 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 Bassin versant à partir des cartes d'isohyètes (figure 4, Fao 2006) et elle vaut, $P_{10} = 95$ mm

S: superficie du bassin-versant (m^2)

$\mathbf{Kr_{10}}$: coefficient de ruissellement décennal

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

$\mathbf{Tb_{10}}$: temps de base

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

- **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)

Pan: pluie moyenne annuelle (560 mm)

S : superficie du bassin-versant (6 km²)

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

$$\mathbf{A = 1-[(161-0,042*560)*log\ (6)/1000]}$$

$$\mathbf{A = 0,89}$$

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

$$\mathbf{P_{m10} = A*P_{10} = 0.89 * 95 = 85\ mm}$$

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

L'estimation de la crue décennale par la méthode ORSTOM passe par la classification du bassin versant selon la perméabilité (infiltrabilité) de son sol. Également, en tenant compte de la constitution géologique et de l'importance du couvert végétal, ils peuvent être classés 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_{10})**

Nous avions cherché Kr_{70} (22%) et Kr_{100} (23%) correspondant respectivement à 70 mm et 100 mm et par interpolation, nous avions obtenu Kr_{10} équivalant à 22,8 %.

- **Lame d'eau ruisselée décennale (Lr)**

$$\mathbf{Lr_{10} = Pm_{10}* Kr_{10} = (85 * 22,8)/100 = 19,4\ mm}$$

- **Le temps de base (Tb_{10})**

Obtenu à partir des abaques dont sa valeur est de 340 minutes.

- **Volume d'eau ruisselé décennale(Vr_{10})**

$$\mathbf{Vr_{10} = Lr_{10} * S = 0,\ 0194\ m * 6*10^6\ m^2 = 116\ 400\ m^3}$$

- **Débit moyen ruisselé décennale(Qmr_{10})**

$$\mathbf{Qm_{r10} = Vr_{10}/ (Tb_{10} * 60) = 116\ 400\ m^3/ (340*60)\ sec = 5,\ 7\ m^3/s}$$

- **Le coefficient de pointe α_{10} = 2, 6**

- **Débit maximum de ruissellement (Qr_{10})**

$$\mathbf{Qr_{10} = \alpha_{10} * Qm_{r10} = 2,\ 6 * 5,7 m^3/s = 14,\ 8\ m^3/s}$$

- **Débit de pointe décennal (Q_{10})**

$$\mathbf{Q_{10} = Qr_{10} + Qrt_{10}}$$

En zone sahélienne, pour les grands basins imperméables I/IR, Q_{10} = (1,10 à 1,15) *** Qr_{10}**

$$\mathbf{Q_{10} = 1,125 * Qr_{10} = 1,125 * 14,8\ m^3/s = 16,6\ m^3/s}$$

- **Volume de crue décennale**

Vc_{10} = (Qm_{r10}+ Qr_{t10}) * Tb_{10} avec Qr_{t10} = 0,125 Qr_{10} d'où Qr_{t10} = 0,125*16,6 m^3/s

Qr_{t10} = 2, 1 m^3/s, alors **Vc_{10} = (16,6m^3/s + 2, 1 m^3/s)*20 400 s = 381 480 m^3**

- **Estimation de la crue projet**

Compte tenu des caractéristiques du basin versant, la crue de projet ne peut être la crue décennale. Aussi, ne disposant pas d'aucun document de référence, nous avons retenu cette valeur de la crue décennale pour vérifier les conditions de remplissage des mares.

$$\mathbf{Q_{10} = 16,6\ m^3/s}$$

N.B : Nous signalons que le cheminement de calcul de la crue du projet pour le deuxième bassin versant (Boulel), a suivi la même procédure.

Annexe IV: ETUDE DES APPORTS

4.1 Apports liquides

La méthode Rodier consiste à associer le bassin étudié à un bassin type. La clé ci –après nous a permit de sélectionner le bassin type le plus représentatif : Pluviométrie de 560 mm et le bassin versant se situe en région sahélienne.

Superficie du bassin versant S_{bv} = 6 km² correspondant à la classe 3 ; sols argileux et relativement imperméables, de gravillons pisolithiques d'origine latéritiques.

Les bassins versants de la zone du projet, avec un relief faible (Ds = 20 m) et de caractéristiques ci-dessus peuvent être apparenté au bassin type de **Felleol** au Mali. D'après les courbes de distribution de Rodier Auvrey, nos bassins se positionnent sur la courbe de distribution de **Felleol** (figure 46, 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 (Ke) sont calculés en faisant le rapport entre la lame d'eau écoulée et la précipitation enregistrée.

Ke = lame d'eau / précipitation [%]

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

Ve = lame d'eau x superficies du bassin versant

Les estimations des apports liquides dans la retenue projetée sont récapitulées dans le tableau en III.3.4.

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 processus 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 ;

La grandeur associée à ces dépôts solides est la dégradation spécifique (Ds) 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.

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

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)

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

Où S : superficie du bassin versant en km^2 et P : pluviométrie moyenne annuelle en millimètres. Nous précisons 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 en III.3.5 indique les valeurs calculées par les deux formules pour une année.

Annexe V : ANALYSE DES BESOINS EN EAU ET DIMENSIONNEMENT DES MARES

V.1.Analyse des besoins en eau

- **Besoins d'abreuvements**

Les besoins ont été estimés en tenant compte du cheptel de la commune, d'une partie du cheptel des villages environnants, du cheptel en transhumant qui pourrait s'abreuver dans la mare au cours de son passage. L'une des grandes difficultés rencontrées au cours de cette étude a été l'évaluation du cheptel. La taille du bétail est estimée à 3 000 UBT pour le village Sokoura et 3500 pour celui de Boulel à raison d'une consommation spécifique par UBT de 0,04 m^3/jour. Les besoins pastoraux sont respectivement de 28 800 m^3 et 33 600 m^3 pour une durée de prolongation de 8 mois soit 240 jours.

N.B :1UBT (Unité de Bétail Tropical)= 5 petits ruminants

- **Besoins domestiques**

Les mares prévues étant des ouvrages à accès relativement simple, les populations bénéficiaires auront recours à ces réservoirs d'eau pour la satisfaction de certains besoins à caractères domestiques. Parmi ces activités, nous avons : le lavage, la confection de briques en banco ainsi que la construction etc. Et ces besoins ont été estimés à raison de 10 fûts/équipe/ jour ou 2 m^3/jour avec une moyenne de 1 à 3 équipe travaillant par jour pendant durant la période sèche, ces différents besoins sont présentés dans le tableau X en IV.4.1.

N.B :1Fut = 200 l = 0,2 m^3

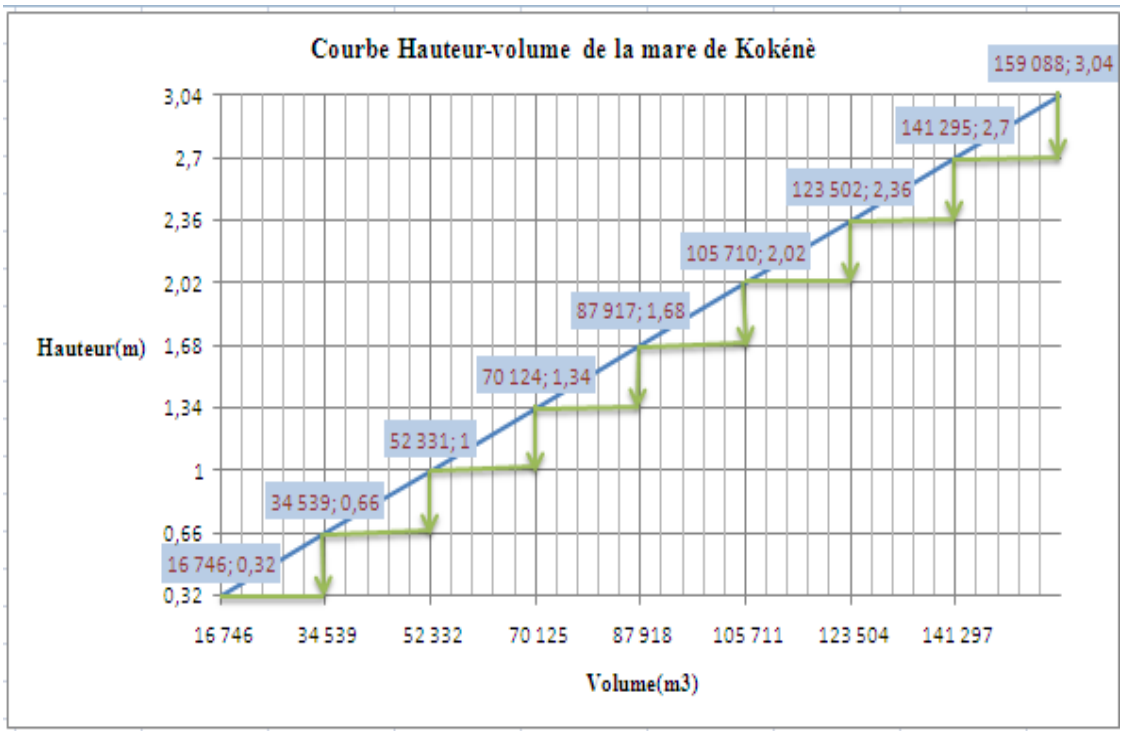

Figure 10 : Courbe Hauteur-Volume de la mare de Kokénè

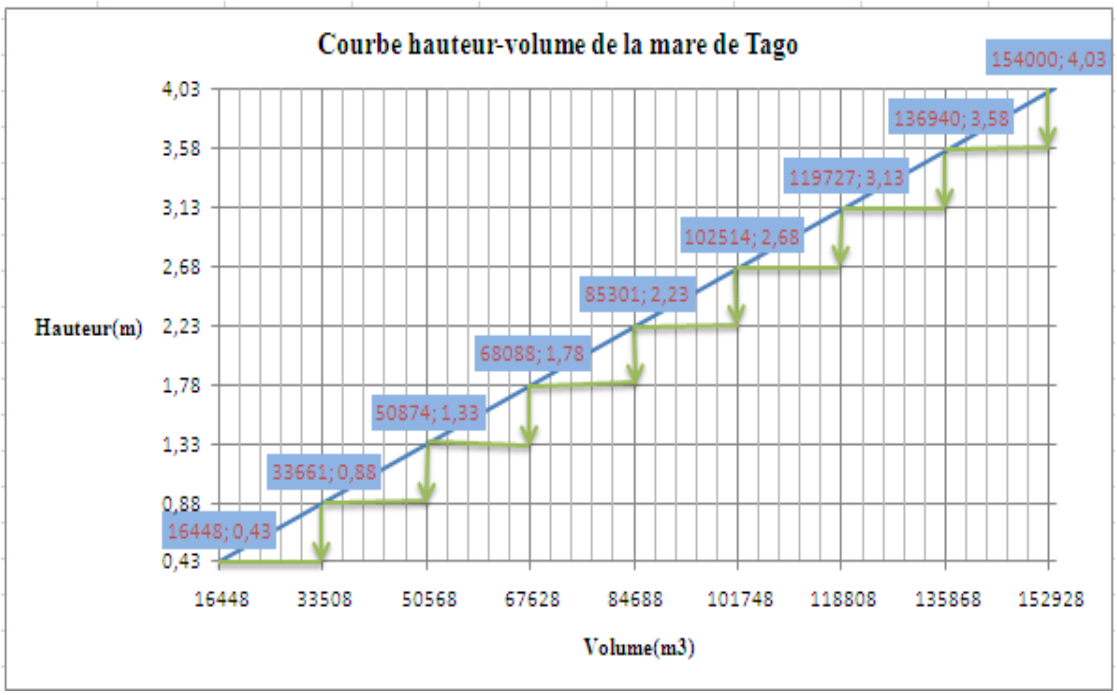

Figure 11 : Courbe Hauteur-Volume de la mare de Tago

V.2. Calcul de dimensionnement des mares

Un module d'Excel a été développé sur la base la forme (parallélépipédique) que nous avons donnée aux mares.

Premièrement, il agissait de déterminer le volume total des mares de telles sortes qu'après les 240 jours de sécheresse, la mare de Kokénè aie 0,32 m de hauteur et celle de Tago 0,40 m. Les variables sur lesquelles nous pouvons jouer sont les pertes (Infiltration et évaporation), le nombre d'UBT, la consommation par UBT/jour, les hauteurs et enfin les pentes du talus. Et pour ce faire, nous avons utilisé la formule dites de tonneliers (GADELLE, F. 1986)

$$dV = 1/3\ dh \times [S(h) + S(h+dh) + [(S(h) \times S(h+dh)]^{1/2}$$

Où : **S (h)** est la surface à la cote h ; **S (h+dh)** est la surface à la cote **h+dh** et **dV** est le volume entre les cotes h et h+dh. Deuxièmement connaissant les caractéristiques géométriques déterminées, nous avons calculé le volume de déblai par la formule ci-dessous :

$$Vs = (h/6) \times [(L_2 x l_{2)} + (L_2+L_1) \times (l_2+l_1) + (L_1 x l_1)]$$

Après le métré, nous arrivons au récapitulatif pour ressortir le cout estimatif des ouvrages dont les caractéristiques sont présentés dans le tableau ci-dessous.

V.3. Digue de protection

Notre analyse s'est portée sur le niveau de calage de la digue et les témoignages de la population sur les inondations connues dans l'année passée dont l'origine est due aux eaux de ruissellements et au retour des eaux dans la mare. Elle a été calée à 0,60 m au dessus du TN. D'où il s'agira d'une digue de protection de 920 ml qui sera réalisée en argile compactée de couches successives de 20 cm d'épaisseur dont les dimensions constructives sont les suivantes :

Tableau XVII : Paramètres constructifs de la digue de protection

Paramètres	Valeurs	Unités
Largeur en crête	1,5	m
Hauteur de la digue	0,6	m
Largeur à la base	4	m
Pente de talus	2h/1v	

V.4.Plan d'installation de l'aménagement des mares de la commune de Sokoura-schéma d'aménagement

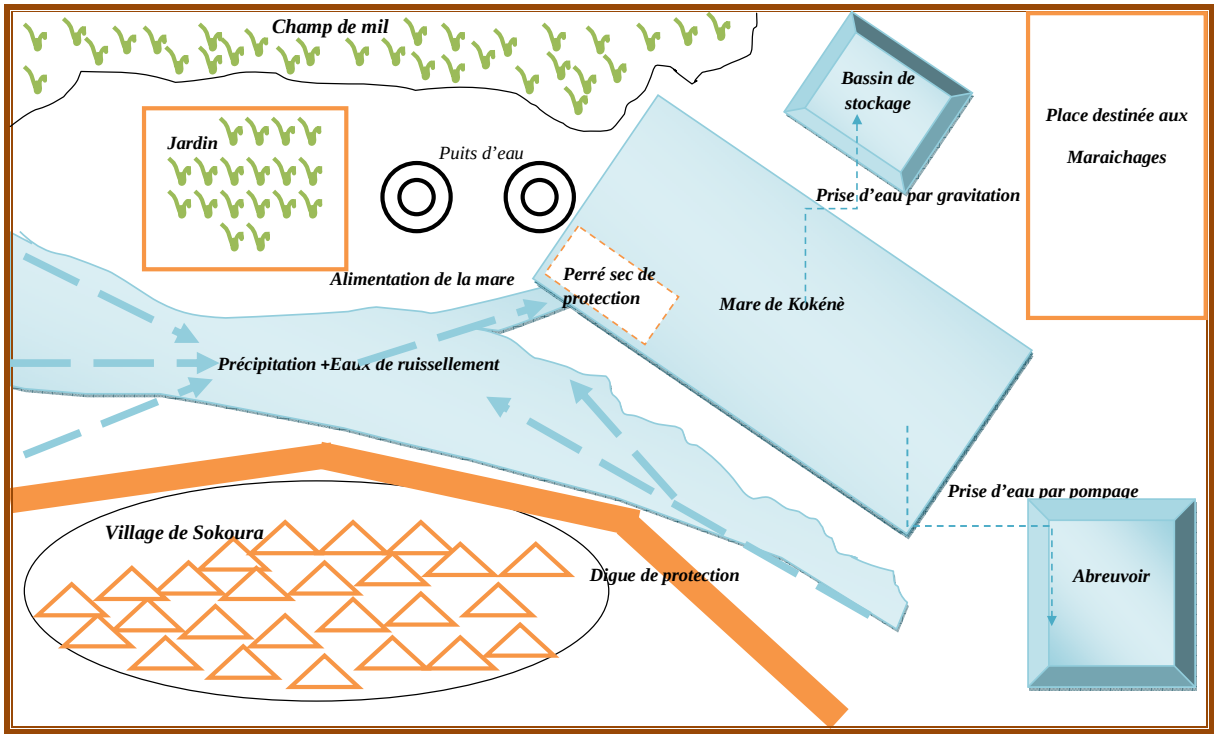

Figure 12 : Schéma d'aménagement de la mare de Sokoura

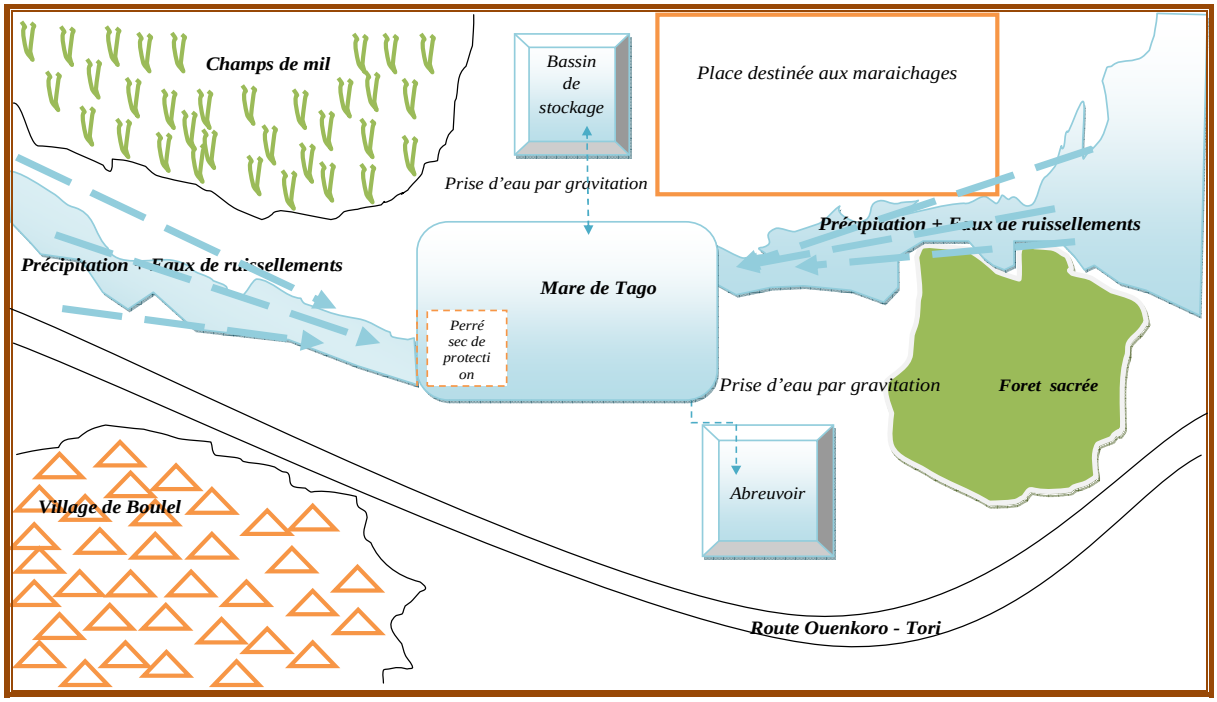

Figure 13 : Schéma d'aménagement de la mare de Tago

TABLE DES MATIERES

CITATION i

DEDICACE ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

SOMMAIRE vi

LISTE DES ABREVIATIONS vii

LISTE DES TABLEAUX viii

I. INTRODUCTION 1

- Présentation de la structure d'accueil 3
- Localisation de la zone du projet 4
- Cadre climatique 4
- Géologie 6
- Hydrologie de la zone d'étude 6
- Sol et végétations 7
- Population 7

II. OBJECTIF ET RESULTATS ATTENDUS 8

- *Objectifs du travail* 8
- *Résultats attendus* 8

III. METHODES ET MATERIELS 9

- Approche préliminaire 9
- *Etudes topographiques* 10
- *Etudes géotechniques* 10
- *Etudes hydrologiques et hydrauliques* 10
- *Analyse des besoins en eau et dimensionnement des mares* 10
- *Etude d'impact environnemental* 10

IV.RESULTATS 11

VI.1. Etudes topographiques 11

VI.1.1. Plan topographique de la mare de Kokénè (Sokoura) 11

IV.1.2. Plan topographique de la mare de Tago (Boulel) 12

IV.2.Etudes géotechniques 13

IV.3.Etudes hydrologiques 14

IV.3.1.Caractéristiques des Bassins versants 14

IV.3.2.Etudes de pluies 14

IV.3.3.Etudes des crues 15

IV.3.4.Apports liquides 16

IV.3.5.Apports solides 16

IV.4. Besoins en eau et dimensionnement des mares 17

IV.4.1. Besoins en eau 17

IV.4.2.Dimensionnement des mares 18

IV.5. Etudes d'impact environnementals 19

IV.5.1. Impacts sur l'environnement biophysique 19

IV.5. 2.Impacts sur l'environnement socio-économique 20

IV.5.3.Mesures d'atténuation et de renforcement des impacts 21

IV.6. Devis descriptifs, quantitatifs et estimatif de la réalisation des mares 23

- *Planning d'exécution* 24

V. DISCUSSION ET ANALYSES 25

VI. CONCLUSION 30

VII. RECOMMANDATION ET PERSPECTIVES 30

VIII. BIBLIOGRAPHIE 32

IX. ANNEXES 34

Annexes I. ETUDES DES BASSINS VERSANTS 34

I.1.Caractéristiques hydro morphologiques du bassin-versant 34

- La superficie du bassin versant 34
- Le périmètre du bassin-versant (P) 34
- L'indice de compacité de GRAVELIUS 34

La longueur (L) du rectangle équivalent 34

L'indice global de pente 34

Dénivelé spécifique (Ds) 35

Annexe II : ETUDES STATISTIQUES DES PLUIES 37

Analyse de pluies 37

Annexe III : ETUDES DES CRUES 40

Annexe IV: ETUDE DES APPORTS 43

4.1 Apports liquides 43

4.2. Apports solides 43

Annexe V : ANALYSE DES BESOINS EN EAU ET DIMENSIONNEMENT DES MARES 45

V.1.Analyse des besoins en eau 45

V.2. Calcul de dimensionnement des mares 47

V.3. Digue de protection 47

V.4.Plan d'installation de l'aménagement des mares de la commune de Sokoura-schéma d'aménagement 48