

REGION DE KAYES

CERCLE DE YELIMANE

COMMUNE RURALE DE KREMIS

REPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple - Un But - Une Foi

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET
L'AGRICULTURE FAO

PROJET D'INTENSIFICATION AGRICOLE PAR LA MAÎTRISE DE L'EAU DANS
LE SAHEL OCCIDENTAL GCP/MLI/028/VEN

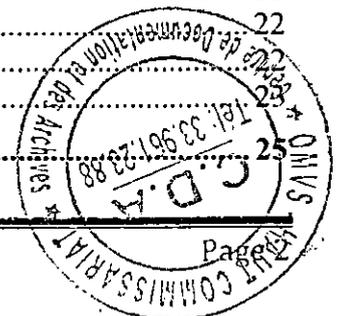
ETUDES TECHNIQUES POUR L'AMENAGEMENT DU BAS FOND DE
SANGADOU

DIRECTION REGIONALE
DU GENIE RURAL DE KAYES

Septembre 2009

Sommaire

I PREAMBULE.....	5
II OBJECTIF DU DIAGNOSTIC	8
III METHODOLOGIE UTILISEE	8
3.1 La recherche documentaire	8
3.2 L'entretien semi structuré ESS.....	8
3.3 Les visites de terrain.....	8
3.4 Le calendrier d'occupation du bas -fond.....	9
3.5 Le diagramme de Venn.....	9
3.6 Pyramide des problèmes prioritaires du bas -fond.....	9
3.7 L'arbre à problème	9
3.8 L'arbre à objectifs	9
3.9 Tableau de planification.....	9
IV RESULTATS OBTENUS.....	9
A GENERALITES	9
4.1. CADRE PHYSIQUE.....	9
4.1.1 Localisation	9
4.1.2 Relief	10
4.1.3 Climat et végétation.....	10
4.1.4 Hydrographie.....	11
4-2 CADRE SOCIO ECONOMIQUE	11
4-2-1 Population.....	11
B LE BAS -FOND	13
a)Caractéristiques physiques du bas- fond.....	13
b) Aspect du réseau hydrographique du bas- fond.....	14
c) Régime foncier du bas- fond.....	14
d) Situation future du secteur agricole (avec l'aménagement).....	14
e) La dynamique des intervenants du bas -fond (Le diagramme de Venn).....	15
f) Pyramide des problèmes prioritaires d'aménagement du bas -fond.....	16
g) L'arbre à problème.....	17
h) L'arbre à objectifs.....	18
i) Calendrier d'occupation annuel.....	19
j) Tableau de planification.....	20
ETUDES TOPOGRAPHIQUES.....	21
V ETUDES TOPOGRAPHIQUES.....	22
5-1 Personnel.....	22
5-2 Matériels topo et équipements	22
5-3 Logistique	22
5-4 Matériaux	22
5-5 Levé.....	22
5-6 PIQUETAGE	22
5-7 NIVELLEMENT:	22
VI ETUDE PÉDOLOGIQUE	25



6-1 Description des sols	25
6-2 Aptitudes et contraintes.....	27
VII ETUDE GEOTECHNIQUE.....	29
7-1 Résultats.....	29
7-2 Disponibilité en matériaux locaux	34
7-3 Conclusions.....	34
VIII BESOINS EN EAU DES CULTURES	36
8-1 Riziculture.....	36
8-2 Culture de décrue	36
8-3 Les ressources en eau disponibles dans le périmètre	36
IX PROJET D'AMENAGEMENT.....	39
9-1 Constat général.....	39
9-2 Fonctions du bas-fond.....	39
9-3 Contraintes majeures.....	39
9-4 Choix du site	39
9-5 Etude Hydrologique :	40
X DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES	43
10-1 Principe et schéma d'aménagement.....	43
10-2 Côte du plan d'eau des exploitations rizicoles:.....	43
10-3 Côte du plan d'eau normal du site:	43
XI PROPOSITION D'AMENAGEMENT	46
XII DESCRIPTION DE L'OUVRAGE	46
12-1 Cote de calage du plan d'eau (PEN).....	46
12-2 Emplacement du déversoir :.....	47
12-3 Type d'évacuateur de crue et de bassin de dissipation	47
12-4 Le corps du barrage.....	48
XIII MODALITES DE REALISATION DES TRAVAUX.....	48
XIV MISE EN VALEUR ACTUELLE DE LA ZONE A AMENAGER.....	48
14-1 Potentialités et contraintes liées à l'exploitation.....	48
14-2 Analyse des contraintes et propositions d'aménagements.....	49
XV VALORISATION DE L'AMENAGEMENT	49
15-1 Zonage des parcelles	51
15-2 Evaluation du cout des ouvrages.....	54
PREAMBULE	56
GENERALITES.....	56
4.4 - LES IMPACTS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT.....	59
4.4.1 - Sources d'impacts.....	59
4.4.2 - Interrelation entre les sources d'impacts et les composantes environnementales	60
4.4.2.1 - Impacts sur le milieu physique :.....	61
4.4.2.2 - Impacts sur le milieu humain :	62
4.6. - Mesures d'atténuation et de compensation (correction)	62

ANNEXES 1.....	65
ANNEXES 2.....	68

I PREAMBULE

La lutte contre la pauvreté, l'émigration illégale et l'insécurité alimentaire constituent un des défis majeurs auquel est confronté le Mali. Environ 33 pour cent des ménages vivent dans des conditions de grande précarité et 30 pour cent de la population ne bénéficient pas de la ration alimentaire minimale recommandée (2 100 Kcal par personne et par jour). Une part non négligeable de la population rurale, principalement des jeunes émigrent vers la ville et/ou tentent, au risque de leur vie, leur aventure vers l'Europe dans l'espoir de jours meilleurs.

Le déficit pluviométrique et hydrologique de ces dernières décennies au Sahel occidental a considérablement bouleversé le système de vie dans la zone, rendant ainsi la situation de plus en plus difficile pour les populations rurales dans leur terroir tout en les exposant à l'insécurité alimentaire, à la pauvreté et à une émigration sans limite.

Les investissements consentis pour le développement n'ont pu jusqu'ici réduire la pauvreté, combler le déficit céréalier, ni limiter l'émigration.

Le Gouvernement du Mali a exprimé, au cours des dernières années, sa volonté de faire de la lutte contre la pauvreté la priorité de développement. Cette lutte est une œuvre de longue haleine, elle doit s'inscrire dans la vision à long terme de la société et de l'économie malienne. Cette perspective a été formulée dans l'étude nationale prospective (ENP Mali 2025) dont les résultats ont été adoptés par le Gouvernement du Mali en décembre 2000 ainsi qu'en 2002 par l'adoption de la Stratégie nationale de sécurité alimentaire (SNSA).

L'objectif essentiel de la SNSA est d'assurer l'accès de tous les maliens, à tout moment, aux aliments nécessaires pour mener une vie saine et active, en veillant à prendre en compte quatre dimensions : l'accessibilité, la stabilité et l'utilisation optimale des aliments conformément aux objectifs du millénaire et à ceux du sommet mondial de l'alimentation.

Ses objectifs spécifiques sont : la promotion d'une agriculture productive, diversifiée, durable, et régionalement intégrée, le développement, la fluidification et l'intégration sous régionale des marchés nationaux, l'amélioration durable des conditions structurelles d'accès des groupes et zones vulnérables à l'alimentation et aux services sociaux de base, l'amélioration des dispositifs de prévention et de gestion des crises conjoncturelles, en cohérence avec la construction de la sécurité alimentaire structurelle et le renforcement des capacités des acteurs et la promotion d'une bonne gouvernance de la sécurité alimentaire

Le pilotage de la politique de sécurité alimentaire a été confié à un Commissariat à la Sécurité Alimentaire rattaché à la Présidence de la République.

Comme cadre d'exécution et de suivi à court terme de la mission du Commissariat à la Sécurité Alimentaire, un Plan National de Réponse (PNR) aux difficultés alimentaires a été élaboré. Ses objectifs généraux visent à : (i) assurer les conditions d'une sécurité alimentaire structurelle, durable et intégrée, (ii) améliorer la prévention et la gestion des crises alimentaires conjoncturelles.

C'est dans ce cadre que le Gouvernement, en rapport avec les PTF, a préparé la mise en œuvre d'un Programme National de Sécurité Alimentaire (PNSA) susceptible d'augmenter quantitativement et qualitativement la production agricole, de promouvoir la création de biens et services de façon durable et d'améliorer les revenus et les conditions de vie des

populations, en général, et des ruraux les plus vulnérables en particulier et spécifiquement dans les zones structurellement déficitaires, notamment au niveau des 166 communes les plus vulnérables.

Le présent projet fait intégralement partie du PNSA et le Conseil National de Sécurité Alimentaire, lors de sa réunion à Ségou en janvier 2007, a décidé que le projet devait couvrir en priorité les plus pauvres des 166 communes les plus vulnérables de la région ciblée.

Le projet proposé pour une durée de deux ans aura pour objectif principal au niveau des communes, les plus vulnérables des cercles de Yélimané, Nioro et de Diéma : l'amélioration de la sécurité alimentaire et la réduction de la pauvreté des ménages des terroirs pauvres de ces communes, comme objectifs spécifiques : (a) le renforcement institutionnel de l'administration et des organisations de bénéficiaires ; (b) l'amélioration et la sécurisation de la production vivrière par l'aménagement des périmètres hydro-agricoles et le transfert de technologies testées et éprouvées ; (c) l'accroissement des revenus des groupes sociaux vulnérables par la diversification de leurs activités, orientées vers le petit élevage..

Il s'insère dans les objectifs stratégiques du gouvernement de lutte contre la pauvreté et d'amélioration de la sécurité alimentaire et des conditions de vie des ruraux. Il permet progressivement :

aux communautés villageoises, de mieux gérer leur développement et leur sécurité alimentaire au niveau de leurs villages, d'opérer en tant que maître d'ouvrage local d'accroître leur revenu par la mise en valeur d'un certain nombre d'aménagements hydro-agricoles et de petites opérations de diversification ;

aux groupes d'exploitants d'améliorer leurs systèmes de production et de s'organiser sous forme de groupements professionnels ;

de créer les bases de l'autopromotion du monde rural, notamment par l'appropriation des outils d'analyse et de gestion de leur propre développement et l'accès à des services financiers de proximité adaptés à leurs besoins (épargne/crédit).

Le projet évolue en étroite collaboration avec le Programme d'Appui au Développement Durable de Yélimané (PADDY)

Dans une optique de développement durable et tirant les leçons du passé, le projet responsabilise les acteurs de développement dans la mise en œuvre des actions qu'il soutient et recherche l'expertise adéquate faisant appel, entre autres, à la coopération sud-sud mise en place dans la zone par le PADDY avec le Viêt-Nam.

Les bénéficiaires sont les maîtres d'ouvrage locaux, et donc sont responsables de l'exécution des activités, appuyées par les services techniques, les ONG et autres organismes. Seule une maîtrise d'ouvrage déléguée aux bénéficiaires (ou maîtrise d'ouvrage locale), dès les prémices de leurs projets, permet un transfert de compétence qui garantit la bonne conduite des aménagements et des investissements, en même temps que le renforcement des capacités d'autopromotion pour assurer la continuité après la clôture du projet.

L'aménagement du bas - fond de Sangadou s'inscrit dans le plan de travail 2008 et 2009 du projet et, selon un protocole d'accord de collaboration fait l'objet d'études d'APD et DAO par la Direction Régionale du Génie Rural de Kayes.

**DIAGNOSTIC SOMMAIRE DE LA SITUATION ACTUELLE D'AMENAGEMENT
ET DE FONCTIONNEMENT DU BAS FOND**

Le présent diagnostic sommaire illustre les méthodologies utilisées, les résultats et les principales contraintes liées à l'aménagement et la mise en valeur du bas fond.

II OBJECTIF DU DIAGNOSTIC

Il s'agira d'établir avec les utilisateurs un diagnostic rapide et critique de la situation actuelle, afin de définir avec eux les contraintes actuelles, les grandes lignes des actions à entreprendre (options préliminaires) pour la conception des ouvrages et du réseau d'irrigation et de drainage, le schéma de gestion et de l'organisation des producteurs à mettre en place pour une meilleure exploitation du bas-fond.

III METHODOLOGIE UTILISEE

La méthodologie adoptée est le Diagnostic Participative de façon spécifique. Les outils utilisés spécifiques à l'aménagement et la mise en valeur du bas - fond sont les suivants : la recherche documentaire, l'interview semi structuré, le transect, le diagramme de Venn, le calendrier d'occupation annuel, la Pyramide des problèmes prioritaires, l'arbre à problème : l'arbre à objectifs ; le tableau de planification

3.1 La recherche documentaire

La recherche documentaire fut la première étape. Elle a consisté à la collecte et à la consultation de toute la documentation relative à la situation actuelle d'aménagement et des options d'aménagement et de mise en valeur du bas fond.

Cela a amené l'équipe d'enquête au niveau de la Coordination régionale du projet GCP/MLI/028/VEN, le Programme d'Appui au Développement Durable de Yélimané PADDY (Programme partenaire), des services techniques (agriculture, élevage, conservation de la nature, génie rural, micro finance etc.) et des collectivités territoriales décentralisées (Conseil de cercle et mairie).

3.2 L'entretien semi structuré ESS

Dans le village de Kakoulou qui est le plus proche du site à aménager, il a été effectué un entretien semi structuré avec l'ensemble des villages de Krémis, Kakoulou, Sénéwali Soninké et Sénéwali peulh pour fournir des informations sur :

- Le fonctionnement hydrologique du bas fond (les cours d'eau qui l'alimentent, les dates d'arrivée et de retrait des crues, les hauteurs de la lame d'eau, etc.) ;
- Le mode d'occupation, la ressource humaine disponible pour la mise en valeur, les problèmes fonciers du bas- fond ;
- Le calendrier d'occupation annuel du bas- fond;
- Les différentes organisations autour du bas -fond, leurs interactions dynamiques (diagramme de Venn) ;
- La hiérarchie des problèmes autours du bas fond.

3.3 Les visites de terrain

Le site de l'ouvrage a été choisi à l'issu d'une visite par transect de la zone. Au cours de cette visite, l'équipe technique a parcouru le bas- fond sur près de 3km de long en compagnie des

décideurs du village pour confirmer ou infirmer les données recueillies lors de l'entretien, et aussi mener toutes les investigations devant permettre de connaître les critères techniques qui sont :

Taille du bas -fond (superficie), ses caractéristiques physiques (forme, nature du sol, morphologie, couvert végétal, etc...).

3.4 Le calendrier d'occupation du bas -fond

Il a été établi lors de l'entretien par les bénéficiaires eux mêmes, un tableau illustrant les différentes activités réalisées et leurs périodes d'exécution, par réponse aux questions posées par l'équipe d'enquête.

3.5 Le diagramme de Venn

Les bénéficiaires ont procédé à même le sol au traçage des liens de travail entre les différents intervenants du bas- fond au cours de l'entretien semi structuré.

3.6 Pyramide des problèmes prioritaires du bas -fond

Cet outil a permis de hiérarchiser les problèmes liés à l'aménagement et à la mise en valeur du bas -fond.

3.7 L'arbre à problème

Au cours de l'entretien semi structuré l'équipe d'enquête a amené les participants à dresser un schéma de cause à effets pour l'analyse de la situation actuelle d'aménagement, des options d'aménagement à entreprendre et des modalités de mise en œuvre du bas- fond.

3.8 L'arbre à objectifs

Cet outil a permis de hiérarchiser les objectifs de développement pour résoudre les problèmes liés à l'aménagement et à la mise en valeur du bas- fond.

3.9 Tableau de planification

Cet outil a permis de planifier les actions et les moyens de développement pour résoudre les problèmes liés à l'aménagement et à la mise en valeur du bas -fond.

IV RESULTATS OBTENUS

A GENERALITES

4.1. CADRE PHYSIQUE

4.1.1 Localisation

La zone du projet relève administrativement du cercle de Yélimané qui est situé à l'extrémité nord-ouest de la région de Kayes et fait frontière avec la Mauritanie au Nord, le cercle de

Nioro à l'Est, le cercle de Kayes au Sud-Ouest et le cercle de Bafoulabé au Sud. Au plan géographique, le cercle est compris entre environ 15 et 15 degré 30 de latitude nord et les longitudes 10 et 11 degré à l'ouest du méridien international. Il est essentiellement formé du Bassin de la Térékolé et de la Kolombiné (deux affluents du Fleuve Sénégal), et couvre une superficie d'environ 5 805 km².

4-1-2 Relief

Le relief ancien et tourmenté est fondé sur des formations géologiques suivantes:

- ✓ Un socle stable datant du Précambrien et du Cambrien appartenant au craton Mauritano éburnéen ouest africain, couvrant toute la zone; il est composé de roches granitiques et métamorphiques ainsi que des argiles, grès et jaspes datant au Cambrien;
- ✓ Une couverture d'infracambrien tabulaire, fortement entaillée par endroits, faisant partie du Bassin de Taoudéni recouvre le socle notamment à l'ouest du cercle;
- ✓ Un massif dolomitique du Permo-Trias (massif de Bafoulabé) constitué d'intrusion éruptive en forme de dykes, sills et laccolites qui s'étend sur la partie est du cercle en marquant un gradin à l'ouest avec un surplomb d'environ 200 m au dessus de la plaine de Diafounou.
- ✓ Un vaste bassin hydrographique ramifié et des plaines d'épandage intercalées constituant les vallées de la Térékolé et de la Kolombiné et de leurs affluents; les terrasses d'alluvions fluviatiles anciennes forment l'assise de ces rivières, qui charrient annuellement des alluvions jeunes et diversifiées entraînées par les eaux de ruissellement; des failles et des seuils rocheux occasionnent des zones de stockage (mare de Léhé, mare de Toya) le long des vallées de ces rivières.

Les formes du modelé résultant de la nature géologique du substratum sont variées; à l'Est, elles sont constituées d'un massif de grès et de schistes, d'un glacis à pente modéré faisant le raccordement du massif avec à l'ouest la vaste plaine du Diafounou

En amont de Yélimané, la transition entre le massif et la vallée de la Térékolé est abrupte et forme ainsi une gorge de collection des eaux de ruissellement.

Les unités géomorphologiques résultant de ces reliefs sont les suivantes:

les unités résiduelles témoins du relief ancien et de sa transformation; elles correspondent aux niveaux les plus hauts du paysage actuel et se subdivisent en buttes et en collines cuirassées occupant de grandes superficies ainsi qu'en buttes et en collines rocheuses (en grès) couvrant des surfaces peu étendues;

Les surfaces fonctionnelles correspondant à des glacis de pente douce et à des glacis de pente forte, sujets à une forte érosion hydrique;

Le réseau de drainage et les systèmes alluviaux correspondant aux parties basses du paysage, faites de vallées étroites, de vallons (encaissés ou concaves), de plaines ou de terrasses alluviales des rivières.

4-1-3 Climat et végétation

Le climat du type sahélien est caractérisée par deux saisons contrastées: une saison des pluies s'étalant de juin à octobre avec un pic de précipitations en août et une saison sèche de novembre à mai subdivisée elle-même en une saison sèche froide (décembre à février) et une

saison sèche chaude (mars à mai). La saison sèche est marquée par de fortes températures (températures moyennes de 33 à 35 degré C) durant les mois d'avril, de mai et de juin. Des maxima de plus de 45 degrés ont été enregistrés à Yélimané. Les températures basses sont observées durant les mois de décembre, de janvier et de février et peuvent descendre parfois en dessous de 10 degré C. Ces fortes températures expliquent le niveau élevé de l'évapotranspiration dans la zone qui est comprise entre 2 500 à 3 000 mm en moyenne par an. La pluviométrie est irrégulière d'une année à l'autre et au cours de la même saison. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 450 mm pour la partie nord du cercle à plus de 500 mm dans la partie sud. Depuis ces vingt dernières années, il y a une tendance à la baisse de la pluviométrie annuelle et du nombre de jours de pluies.

La formation végétale de la zone est la savane arbustive. La taille des arbustes est de l'ordre de 2 à 10 m. Les principales végétales sont :

Espèces ligneuses : Bauhinia rufescens, Accacia seyal, Balanithes aegypteca, Guiera senegalensis; ronniers

Espèces herbacées : Andropogon spp, Cenchrus bliflorus, Digitaria spp

4.1.4 Hydrographie

La commune de Krémis est caractérisée par un système hydrographique qui présente les caractères des zones semi arides. Pendant la saison sèche, presque toutes les rivières sont à sec. Les cours d'eau (Lakanguilé, wassarou, sangadou) ne coulent que pendant l'hivernage.

4-2 CADRE SOCIO ECONOMIQUE

4-2-1 Population

La zone du projet d'aménagement du Bas- fond de Sangadou est la commune de Krémis. Avec une population totale estimée à environ 8 148 habitants (dont 52% de femmes), la commune rurale de Krémis est composée de cinq villages : Krémis, Kakoulou, Sénéwaly Tassarnabé, Sénéwaly Dialoubé et Sénéwaly Tordianabé.

Les principales ethnies sont :

Soninké96 %
Peulhs3 %
Maure1 %

Dans la commune on note une bonne coexistence entre les communautés malgré quelques conflits entre agriculteurs et éleveurs liés à la divagation des animaux.

Les migrants couvrent les coûts d'équipement des infrastructures socio sanitaires, éducatives, religieuses et sociales. Ils assurent le complément alimentaire des populations résidentes.

Le taux d'exode rural est de 4% et le taux d'émigration 18% ; les lieux d'accueil sont : la France, les Etats Unis, le Gabon, l'Espagne, etc.

4-2-2 Bénéficiaires des aménagements

Les **bénéficiaires directs** des aménagements sont les populations de la commune rurale de Krémis, notamment les villages de Krémis, Kakoulou, Sinwalé Soninké et Sinwalé peuls, quelque 7 395 habitants.

Les **bénéficiaires indirects** sont les populations des communes voisines de Kirané, Guidimé, ainsi que les transhumants, estimés à plus de 20 000 habitants.

4-2-3 Infrastructures socio économiques

Nombre de centres :

1 Ecoles : 2 (1^{er} et 2^e cycle à Krémis et 1^{er} cycle à Kakoulou)

Médersa : 3 (médersas à Kébela et Baradji, Krémis, Kakoulou)

CFD : 1 à Dembala

Autres : 1 Alphabétisation SENEWALY Iassamaabès

Nombre de centres de santé de la commune :

CSCOM : 1 à Krémis

Dispensaires :

Autres : 1 dépôt pharmacie à Krémis

Nombre total de points d'eau : 14 (forages équipés 7, non équipés 4, Puits modernes 3)

Nombre de points d'eau/population : 14/8 284 habitants :soit

Nombre d'ouvrages d'assainissement/concession : existence des latrines et des puisards

Nombre de banque de céréale : 1

4.2.4 Activités économiques

Les activités économiques de la zone du projet sont : l'agriculture, l'élevage, le commerce transfrontalier.

Situation actuelle du secteur agricole

Les activités économiques essentiellement basées sur l'agriculture ont été modifiées par la sécheresse de ces dernières décennies provoquant ainsi une réduction des superficies exploitables et la baisse de rendement.

Le bas -fond était exploité en riziculture et en culture de décrue par les villages de Kakoulou, Krémis et Sinéwaly : mais de nos jours où les conditions pluviométriques deviennent défavorables : l'exploitation du bas- fond est difficile sans maîtrise d'eau car l'eau stagne mais demeure insuffisant pour boucler le cycle des cultures. En amont du site il y a quelques champs de décrue (maïs) ; à la périphérie du bas -fond se trouve la majeure partie des champs (sorgho, mil arachide).

Cette agriculture traditionnelle basée essentiellement sur la céréaliculture (mil, sorgho, riz de bas fond ect ...), beaucoup plus pratiquée à Sénéwaly Soninké Kakoulou, Krémis. La production céréalière moyenne annuelle en sorgho/mil vaut les 407tonnes à Sénéwaly Soninké.

Les types d'équipements sont : la charrue, la charrette, les outils aratoires traditionnels.

Les semences sont directement prélevées des productions.

Les villages de Sénéwaly peulhs pratiquent l'élevage (bovins, ovins, caprins, arsins, volaille). L'intégration de l'élevage dans le système d'exploitation est de plus en plus nette; bien que

demeurant un élevage extensif, l'apport économique est bien perçu dans le contexte d'années climatiques peu favorables pour la production agricole.

Le cheptel se compose comme suit :

Bovin = 3 800 bêtes

Ovin = 19 500 bêtes

Caprin = 14 500 bêtes

Volailles = 10 000

Les troupeaux étrangers (plusieurs milliers de têtes) errent dans le terroir pendant une bonne partie de l'année.

La non maîtrise d'eau, la difficulté d'accès au crédit, le manque de matériels agricoles, les dégâts des prédateurs (sautereaux, oiseaux, iules), le faible taux de couverture vaccinale des animaux et la divagation des animaux constituent les contraintes majeures dans le secteur agricole.

B LE BAS -FOND

a) Caractéristiques physiques du bas- fond

Le site proposé à l'aménagement, le bas -fond de Sangadou a une superficie de 100 ha ; il est situé à cote du village de Kakoulou, s'allongeant d'Est en Ouest. Le site de l'ouvrage est situé à 3 km du village de Kakoulou, il appartient aux villages suivants :

- ✓ Kakoulou qui est le plus proche, certaine partie du bas- fond sont situées à 1 km, d'autre parties à 3 km ;
- ✓ Krémis à 13 km ;
- ✓ Sénéwaly 11km.

La majeure partie laissée actuellement en jachère sert de pâturage pour les animaux du village, ceux des villages voisins et des transhumants venant de la Mauritanie.

Il présente un profil transversal relativement plat, et est alimenté par une multitude de petits cours d'eau se réunissant à l'intérieur du site pour former un marigot où les écoulements sont canalisés dans une étroite section. Le marigot présente des surfaces d'épandage de crues très importantes sur les berges. Du point de vue géotechnique, le site se caractérise par la présence d'un tapis argileux dans la zone d'assise de l'ouvrage.

Sur le plan hydrologique, le site est assez fourni en eau grâce à l'importance de son bassin versant (94km²). Les écoulements sont assez fréquents mais très éphémères.

La crue démarre généralement en fin Juillet et s'étale vers fin Septembre dont le pic se situe en Août. La lame d'eau dans le bas- fond varie de 60cm à 10 cm ; au moment des plus hautes eaux, la crue s'étend jusqu'à 100m des concessions, d'où une portée de 250m du lit du bas - fond.

La présence de quelques poches d'eau et l'existence de micro seuils naturels permettent le stockage d'une certaine quantité d'eau qu'utilise la population pour la riziculture, les cultures de décrue.

Quant au maraîchage et surtout l'arboriculture ils constituent des nouvelles expériences dans la zone et occupent des superficies très dérisoires.

Les espèces rencontrées dans le bas -fond sont : Bauhinia rufescens, Accacia seyal, Balanithes aegypteca, Guiera senegalensis, roniens

Espèces herbacées : Andropogon spp, Cenchrus bliflorus, Digitaria spp

b) Aspect du réseau hydrographique du bas- fond

Le cours d'eau principal alimentant le bas -fond est également appelé Sangadou ; il vient des collines situées à l'Est vers Lakanguémou. dans le territoire de Kaniaga en faveur du ruissellement. Rétréci en certains endroits, le Sangadou se divise en deux bras. l'un va au Nord vers Mauritanie en passant derrière Kakoulou : l'autre va au Sud en s'étalant dans le bas -fond au niveau du village de Kakoulou, sous forme de zone d'inondation. Les deux bras principaux se rencontrent à Alahina pour ensuite s'acheminer vers les grandes zones d'inondations, le Djéli Mahel, la mare Oumoul Bohoro, et finalement à la Kolimbiné dans le territoire de Diafounou.

c) Régime foncier du bas- fond

Actuellement il existe trois régimes fonciers dominants dans les terroirs de la zone de l'étude :

- ✦ *Les champs de brousse* destinées aux cultures pluviales et sont susceptibles de reprises en cas d'abandon par l'usufruitier (Toute terre prêtée et non exploitée pendant cinq ans est systématiquement retirée). Ces terres de brousse donnent droit aux propriétaires la perception de la dîme sur les récoltes.
- ✦ *Les champs situés sur les berges des rivières* sont familiaux, individuels, utilisés ces dernières années à cause du manque de pluies. Ces champs appartiennent aux lignages et on peut y planter des arbres fruitiers, les clôturer et y faire du maraîchage;
- ✦ *Les champs de décrues situés dans les bas- fonds* exploités en riz, maïs, calabasse, courgettes etc.

Le régime foncier actuel du bas- fond va totalement changer désormais. Le site appartiendra aux exploitants qui seront désignés par le comité de gestion du bas - fonds

d) Situation future du secteur agricole (avec l'aménagement)

Une fois l'aménagement terminé, les bénéficiaires redynamisent le comité de gestion déjà existant ; afin de procéder au parcellaire à raison de 20 ares par exploitation ; en plus de l'humidité résiduelle,

Superficie agricole utile : 105 hectares

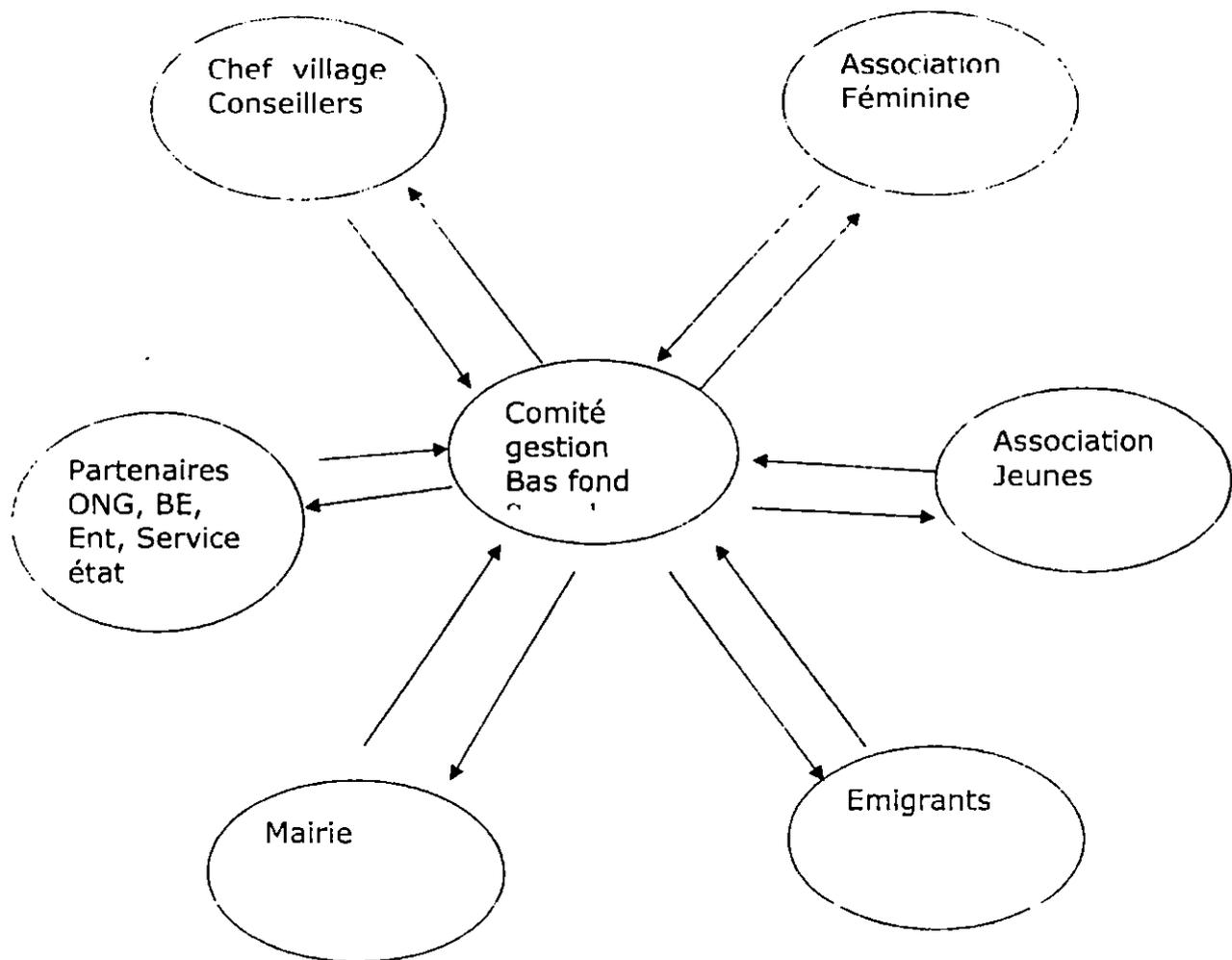
Activités	Superficie (ha)	Taux d'occupation
Riziculture	33,25	31,67%
Décrue	21,75	20,71%
Maraîchage	Variable en rotation avec la riziculture et les cultures de décrue	Variable
Arboriculture	50	47,62%
Total	105	100

Le projet contribuera à rétablir et à améliorer le régime hydrologique du marigot.

Les indicateurs ci dessous sont révélateurs.

Paramètres	Avant l'Aménagement	Après l'aménagement
Surface inondée (ha)	5 (lit du marigot)	38.25
Surface rizicole (ha)	0	33.25
Décrue (ha)	0	21.75
Maraichage	0	33,25
Arboriculture	0	50

e) La dynamique des intervenants du bas -fond (Le diagramme de Venn)

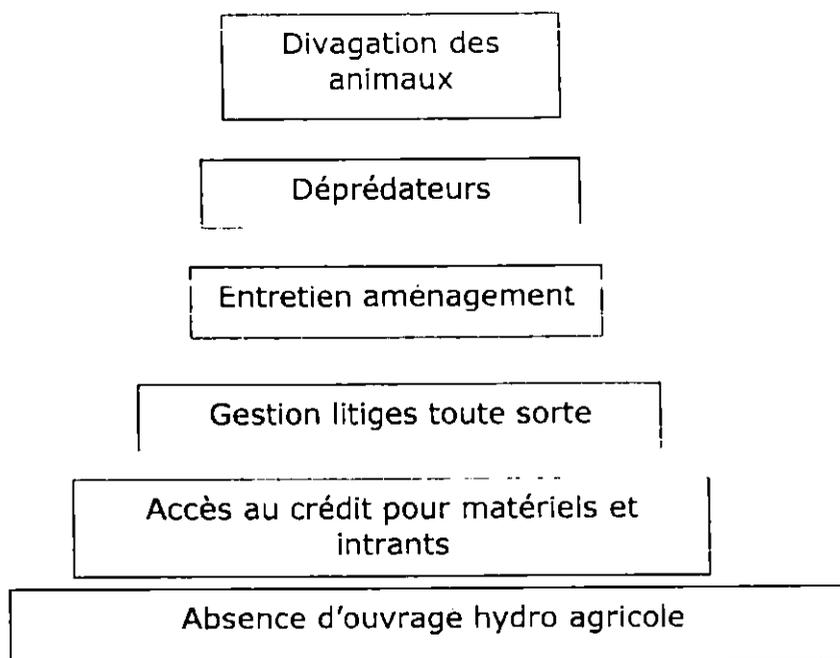


Le comité de Gestion du bas -fond est la cheville ouvrière des interventions autour du bas fond (exploitation, entretien de l'aménagement etc) ; il représente tout le village pour toute question concernant le bas-fond vis-à-vis du maire, des partenaires, de la colonie des émigrants des femmes et des jeunes. Ces dernières agissent en appui pour la réalisation de l'aménagement et la mise en valeur du bas -fond :

- Chef village et ses conseillers appuient à la gestion foncière ;

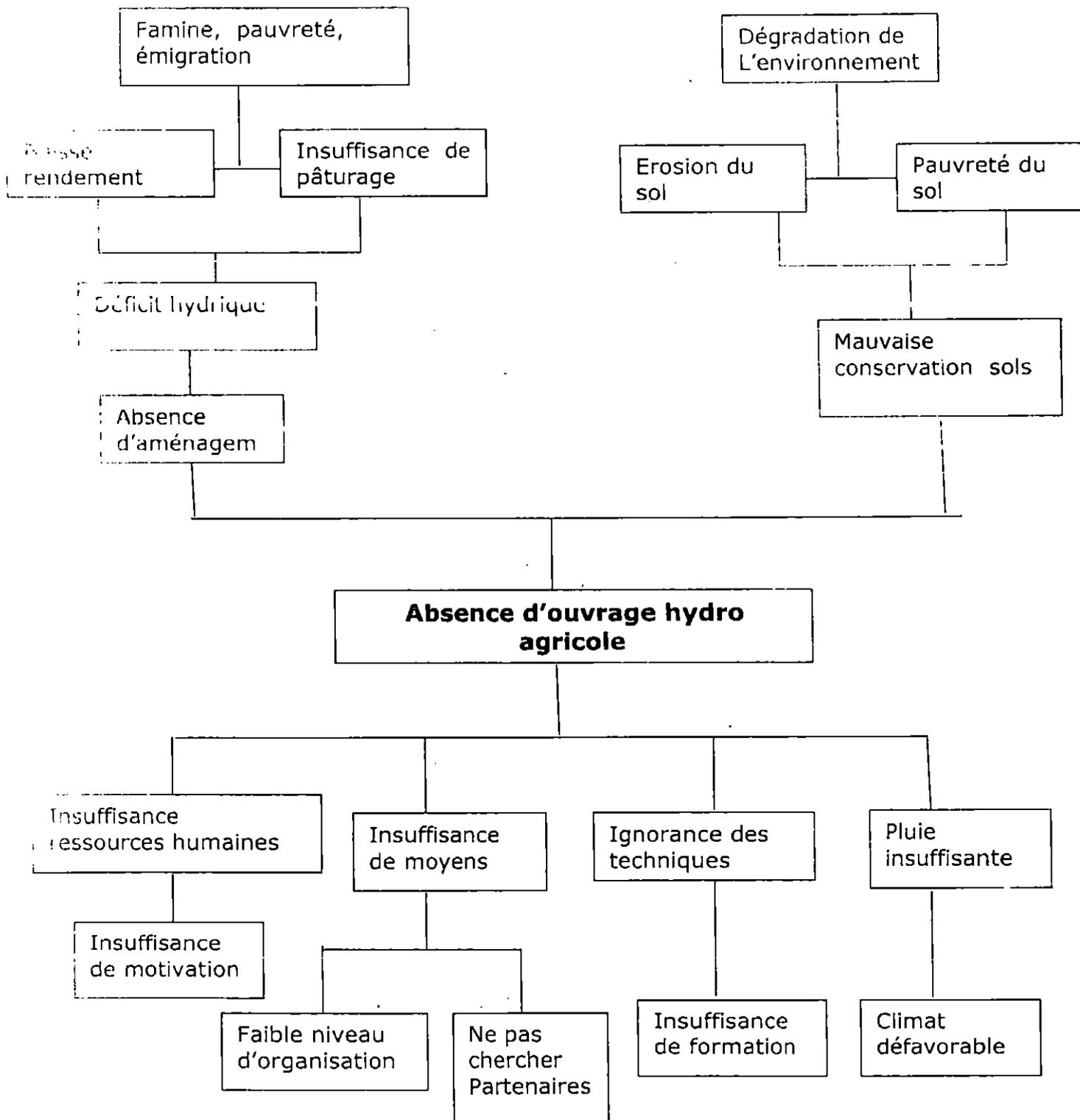
- Association Féminine pour le maraîchage dans le bas -fond :
- Association des Jeunes pour les travaux à Haute Intensité de Main d'Œuvre :
- Emigrants pour l'appui financier :
- Mairie pour l'appui institutionnel :
- Partenaires (ONG, services étatiques, autres) pour l'appui technique

f) Pyramide des problèmes prioritaires d'aménagement du bas -fond



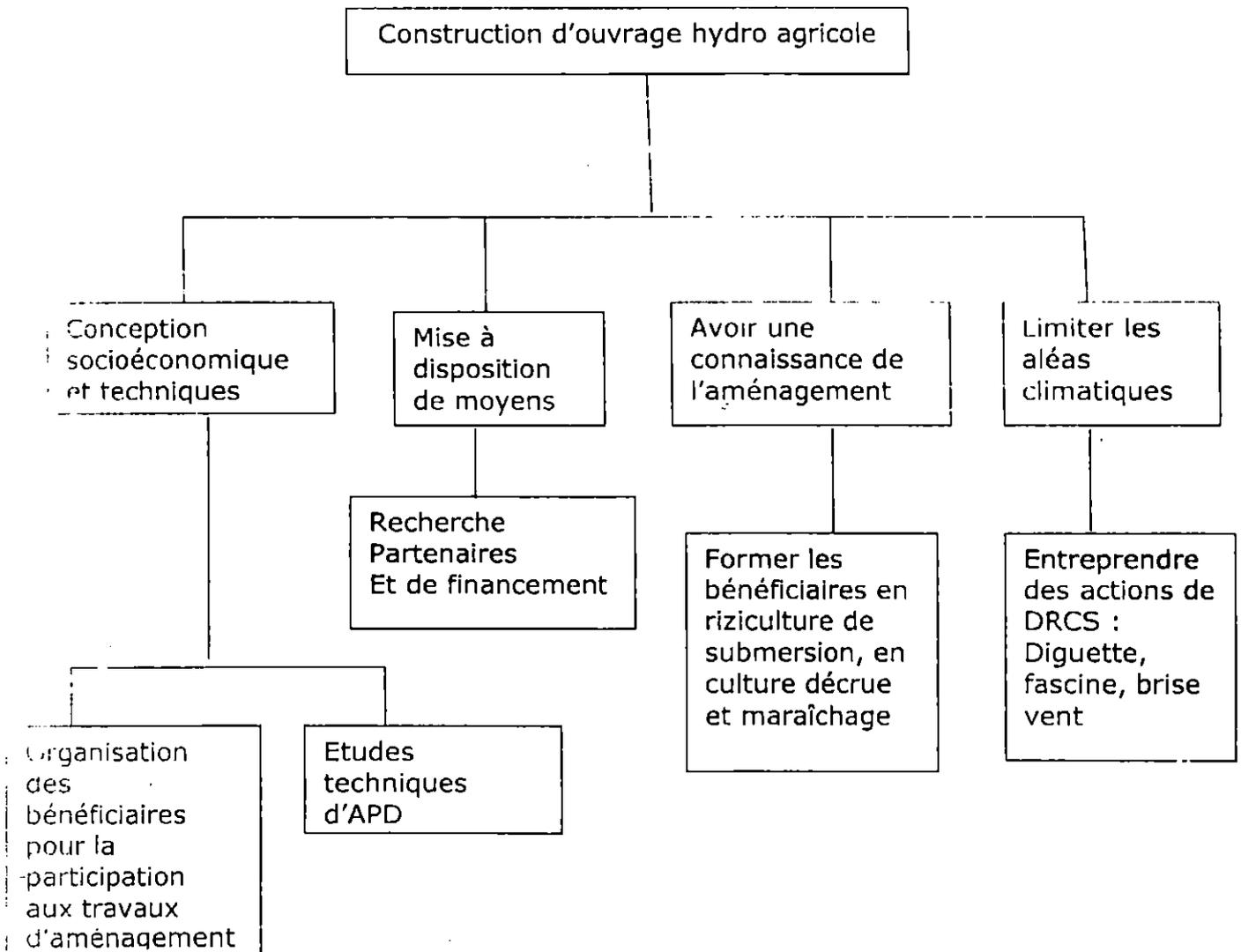
L'absence d'ouvrage hydro agricole est le problème le plus crucial de la situation actuelle d'aménagement, des options d'aménagement et de mise en valeur du bas -fond Sangadou. Le diagnostic sera accentué sur ce facteur pour trouver les causes réelles à ce problème, les conséquences qui en découlent, afin de définir les contraintes actuelles, les grandes lignes des actions à entreprendre (options préliminaires) pour la conception des ouvrages et du réseau d'irrigation et de drainage, le schéma de gestion et de l'organisation des producteurs à mettre en place pour une meilleure exploitation du bas-fond.

g) L'arbre à problème



Le schéma précédent prouve que l'absence d'ouvrage hydro agricole causée par un ensemble de facteurs parmi les quels ont peu citer l'insuffisance de ressources humaines, de moyens financiers et de techniques, les conditions climatiques défavorables aboutit à des conséquences dont le point ultime est la famine, la pauvreté, l'émigration et la dégradation de l'environnement.

b) L'arbre à objectifs



Pour construire un ouvrage hydro agricole (micro barrage) afin de palier aux effets néfastes tels que cités plus haut, il faut organiser les bénéficiaires par la création d'une coopérative par exemple ; pour qu'ils puissent pleinement participer aux travaux, il faut ensuite les former pour qu'ils aient les connaissances nécessaires pour les travaux d'entretien et de mise en valeur du bas -fond.

Il y a lieu également de faire des études techniques d'Avant Projet Détaillé (études topographiques, études hydrologiques, géotechniques, pédologiques, études d'aménagement) et de réaliser des mesures de Défenses, Restauration, Conservation du Sol (diguettes en courbes de niveau, fascines, brise vent, etc...).

i) Calendrier d'occupation annuel

Activités	Périodes											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Culture d'hivernage												
Défrichage						■						
Semis							■					
Entretien							■	■	■	■	■	■
Surveillance								■	■	■	■	■
Récolte										■	■	■
battage										■	■	■
Culture de décrue												
Défrichage									■			
Semis									■			
Surveillance											■	■
Récolte	■										■	■
battage		■	■									
Maraîchage												
Défrichage									■	■		
Semis/repic									■	■	■	
Entretien									■	■	■	■
Récolte	■											

Le calendrier saisonnier prouve qu'il y a un sous emploi en Mars Avril et Mai : pendant ce temps l'encadrement peut sensibiliser les bénéficiaires à la production de fumure organique. Il y a par contre un sur emploi en Septembre, Octobre, Novembre et Décembre : pendant ce temps les bénéficiaires peuvent faire appel à une main d'œuvre externe salariale pour se faire aider.

j) Tableau de planification

Objectif/Action	Resp exécution	Durée	Bénéfic	Moyens	Indicateur
I Organisation des bénéficiaires pour la participation aux travaux d'aménagement et de mise en valeur					
1-1 Création Coopérative	Comité gestion	2 mois	Kakoulou Krémis Sinwale	Statuts Règlements Pièces civiles humain	Récépissé
1-2 Cotation et mise en place de brigade de travail	Coopérative	1 mois	Kakoulou Krémis Sinwalé		Montant émargé : hommes mobilisés
II Etudes techniques d'APD et DAO	Génie Rural Kayes	1.5 mois	FAO	Humains financiers	Rapport d'études et DAO
III Former les bénéficiaires en riziculture, culture décrue et maraîchage					
3-1 Conception module	ONG/Service étatique	1 mois	Coopérative	Humains	Livrets
3-2 Formation en riziculture, culture décrue et maraîchage	ONG/Service étatique	De façon continue	Coopérative	Humains et matériels	Niveau de compréhension
3-4 Évaluation	ONG/Service étatique	5 jours/an	Coopérative	Humains	Rapport
IV Entreprendre des actions de mise en valeur et de DRCS					
4-1 Casiérage	Coopérative	20 jours	Coopérative	Humains et matériels	Superficie aménagé
4-2 Production de Plants et de fumure organique	Coopérative	30 jours	Coopérative	Humains et matériels	Nombre de plants produits
4-3 Plantation et entretien	Coopérative	3 à 4 mois	Coopérative	Humains et matériels	Rendement
4-4 Construction diguette, fascine, bise vent	Coopérative	2 mois	Coopérative	Humains et matériels	Niveau de protection du sol
V Construction Barrage	Entreprise	3 mois	Coopérative	Humains et matériels	Structure de l'ouvrage

ETUDES TOPOGRAPHIQUES

V Etudes topographiques

En prélude aux études d'aménagement, les études topographiques du bas- fond de Sangadou ont été réalisées : l'organisation et la mise en œuvre ont nécessité les dispositions suivantes :

5-1 Personnel

2 topographes (opérateurs)
2 aides topographes
2 chaîneurs
12 manœuvres

5-2 Matériels topo et équipements

1 théodolite + accessoires
1 niveau + accessoires
1 GPS
1 moule pour borne
1 boîte à pharmacie
Des marteaux et coupes coupes

5-3 Logistique

1 véhicule tout terrain

5-4 Matériaux

5 sacs de ciment
2 barres de fer 10 pour bornes
Sables et graviers sur place

5-5 Levé

Échelle 1 / 1 000^{ème}

L'étude topographique du bas - fond de Sangadou a consisté à faire le levé en détail (planimétrie et altimétrie) de la zone du projet afin d'avoir la configuration (relief) du terrain pour son aménagement. Pour se faire, deux brigades ont été constituées :

- une équipe de piquetage :
- une équipe de nivellement

5-6 PIQUETAGE

Après le choix du site, le piquetage a commencé par la mise en place de l'axe de l'ouvrage implanté et matérialisé par des bornes dont deux (2) aux extrémités (soit environ 500 m de part et d'autre de la base) et une (1) borne sur la base . Suite à cette opération, une base de un (1) kilomètre fut implantée et matérialisée comme suite :

- une borne au 100 m en aval
- une borne au 100 m en amont

- une borne au 300 m en amont
- une borne au 1000 m en amont

Conformément au terme de référence, trois zones ont été piquetées suivant des échelles indiquées à savoir :

Zone 1 :

Une première bande de 200 m (soit 100 m de part et d'autre de l'axe de l'ouvrage) a été piquetée à tous les 25 m sur la base et tous les 10 m sur les transversales (soit 500 m de part et d'autre de la base). 800 points au total ont été piquetés sur cette bande. Cette densité s'explique par la zone immédiate de l'ouvrage à réaliser qui doit être suffisamment renseignée.

Zone 2 :

Une deuxième bande à 300 m à l'amont de l'axe de ouvrage piquetée à tous les 50 m sur la base et tous les 10 m sur les transversales (soit 500 m de part et d'autre de la base). A ce niveau, 400 points ont été piquetés .

Zone 3 :

La troisième bande d'une longueur de 700 m de soit 1000 m de l'axe de l'ouvrage a été piquetée à tous les 100 m sur la base et tous les 10 m sur les transversales. La longueur des transversaux est de 500 m de part et d'autre de la base. 700 points ont été piquetés.

Les 12 sommets du polygonal des zones à lever présentent les coordonnées sont :

A : X = 347 905 ; Y = 1 704 679 ; Z = 155.33
 B : X = 347 905 ; Y = 1 705 179 ; Z = 155 .15
 C : X = 347 905 ; Y = 1 705 679 ; Z = 154 .90
 D : X = 347 805 ; Y = 1 704 679 ; Z = 155 .00
 E : X = 347 805 ; Y = 1 705 679 ; Z = 154 .64
 F : X = 348 005 ; Y = 1 704 679 ; Z = 155 .33
 G : X = 348 005 ; Y = 1 705 679 ; Z = 155. 35
 H : X = 348 305 ; Y = 1 704 679 ; Z = 155 .33
 I : X = 348 305 ; Y = 1 705 679 ; Z = 165 .09
 J : X = 348 805 ; Y = 1 704 679 ; Z = 156 .23
 K : X = 348 805 ; Y = 1 705 179 ; Z = 155 .98
 L : X = 348 805 ; Y = 1 705 679 ; Z = 155 .94

5-7 NIVELLEMENT:

Cette opération a consisté à faire le nivellement de tous les points. Elle a commencé par la base et le polygonal en aller et retour afin de minimiser les erreurs. Le nivellement des transversales s'en est suivi en cheminement fermé. Le système n'est pas rattaché à un nivellement général. Pour plus de sécurité, le système a été rattaché à une borne fontaine de Kakoulou (soit 3 km du site). Ce point fixe permettra de reconstituer le système en cas d'action mal propre des gens mal intentionnés qui arrachent les piqués et bornes ; phénomène qui a vu le travail d'une dizaine de jours tombé dans l'eau. La reprise et l'état très boisés du site en arbres épineux ont eu comme conséquence quatre (4) semaines de terrains.

Les résultats des études topographiques ont donné un relief relativement plat d'où l'ouvrage à projeter sera un petit seuil (muret) déversant prolongé par des digues. (cf plan topographique) .

ETUDES PEDOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES

VI ETUDE PÉDOLOGIQUE

L'étude a consisté au quadrillage du site et à l'ouverture de fosses de sondage (profils pédologiques) suivant des bandes de 200mx100m. soit une fosse de sondage tous les deux (2) hectares. Au total 50 fosses ont été réalisées et les analyses ont permis de regrouper les sols en place en trois unités fondamentales.

6-1 Description des sols

L'analyse des fiches de description a mis en évidence les trois (3) groupes de sols suivants:

- Sols ferrugineux hydromorphes pseudogley – HP
- Sols ferrugineux lessivés à concrétions G1
- Sols peu évolués climatiques – G2

a) Sols ferrugineux hydromorphes Pseudogley – HP

a-1 Type limoneux : HP1

On retrouve cette unité dans la partie centrale du bas – fond et aux voisinages immédiats du lit mineur. Ce sol est constitué de matériaux fins en surface devenant un peu lourds en profondeur (limon à limono-argileux), il est de couleur gris- clair à gris - sombre en surface et devenant plus foncé et même noir par endroit en profondeur. La structure est particulière en surface et grumeleuse en profondeur à l'état frais.

Description du profil représentatif de l'unité HP1

(0-20) cm sec ; gris sombre à l'état sec et devenant plus foncé à l'état humide en profondeur ;

(20) limoneux ; structure particulière : consistance meuble, non plastique peu collant ; nombreux pores fins ; nombreuses racines fines d'orientation quelconque ; limite nette et régulière

(20-70) cm frais ; de couleur grise ; limoneux ; structure particulière : consistance meuble, non plastique non collant ; nombreux pores fins.

(70-150)Cm frais ; de couleur gris foncé à noire ; limon-argileux léger ;

(70) Structure grumeleuse ; consistance fragile friable, non plastique, peu collant ; peu nombreux pores ; nombreuses taches fines l'oxydation de couleur brun - rougeâtre.

a-2 type limoneux en surface et argilo-limoneux en profondeur . IIP2

Localisable dans la partie centrale du bas – fond, cette unité s'élargit vers le Sud et l'Est. Ce sol est constitué de matériaux légers en surface (limon) et limono-argileux à argileux en profondeur.

Ici les profils présentent des fentes de retrait de dimension moyenne dans la partie Est et atteignant des proportions souvent démesurées dans la partie centrale et aux voisinages de l'axe de l'ouvrage.

Force est de constater que le sol en place est sujet à l'effet d'un engorgement temporaire, parfois relativement prolongé à cause de la morphologie du terrain et la faiblesse du drainage au niveau des couches adjacentes.

Description du profil représentatif l'unité HP2

(0-30) cm sec : de couleur gris clair à sombre à l'état sec et devenant plus foncée et même noire à l'état en profondeur
 (30) humide : limoneux : structure particulaire pulvérulente : consistance meuble non plastique, non collant ; peu nombreux pores fins ; très nombreuses racines fines : limite nette régulière.

(30-100) cm Frais : de couleur brun grisâtre : limono-argileux moyen :

(50) structure grumeleuse : fragile très friable, peu plastique, peu collant nombreux pores limites et régulières.

(100-150) cm frais : gris brunâtre claire ; argilo-limoneux : structure polyédrique subangulaire moyenne, dure, ferme, plastique, collant : quelques tâches d'oxydation moyennes.

b- Sols ferrugineux lessivés à concrétions -G1

On retrouve cette unité sur une étroite bande localisable à l'Est du bas-fond

Type limoneux en surface et limono sableux à argileux tacheté de rouille en profondeur.

Description du profil représentatif de l'unité G1

(0-20) cm sec : brun grisâtre claire à l'état sec et brun grisâtre sombre à l'état humide

(20) Limoneux, structure fermement développée, particulaire, consistance fragile, meuble non plastique non collant ; très nombreuses racine fines ; Nombreux pores fins et moyens.

(20-80) cm Frais ; de couleur grisâtre limoneux, structure particulaire ; consistance non Plastique, peu collant ; nombreuses racines fines ; peu compacte : nombreux pores fins et moyens.

(60-150) cm frais ; gris brunâtre claire limoneux, structure polyédrique subangulaire

(65) moyen très nombreux graviers de formes irrégulière et peu altérés. Consistance peu dure, friable, non plastique, peu collant ; compacte ; quelques concrétions ferrugineuses peu marquées.

C - sols peu évoluées climatiques -G2 :

Type limoneux à argilo – limono – sableuse en surface et argilo - limoneux à argilo - sableuse présentant des concrétions ferrugineuses en profondeur.

Cette unité s'étend sur les versants Nord – ouest, Sud - ouest et Sud - est du bas - fond.

Description du profil représentatif l'unité G2

(0-15) cm Sec : gris brunâtre claire à l'état sec et brun à l'état humide : limoneux

(15) Structure particulière : meuble, non plastique, non collant.

(15-50) cm Frais ; de couleur jaune brunâtre ; limoneux, sableux ; consistance

(35) Fragile très friable non plastique, non collant : assez nombreux éléments grossiers, peu altérés.

(100 - 150) cm argile noirâtre renfermant tachetée de rouille.

6-2 Aptitudes et contraintes

Il ressort de cette étude que les sols des unités HP1 et HP2 est G1 présentent des caractéristiques physiques en général favorables à la riziculture et aux cultures de décrue.

Par contre l'unité G2 présente peu de propriété et limite son utilisation pour la riziculture et les cultures de décrue. Ici la valorisation portera sur les cultures pluviales. Avec la réalisation d'ouvrage hydro agricole, l'avantage sera la restitution de l'humidité résiduelle du sol qui influencera la production et la productivité.

Malgré l'aptitude de ces unités pour la riziculture et les cultures de décrue, la structure et l'abondance des pores de ces sols laissent entrevoir certainement des problèmes d'infiltrations

**RECAPITULATIF DE LA REPARTITION DES SOLS ET LEGENDE DE LA CARTE PEDOLOGIQUE
DU BAS - FOND DE SANGADOU**

Désignation		Sols		Types	Aptitudes culturales	Contraintes	Symbole
		Classe	Groupe				
Bas - fond	Voisinages du lit mineur	Sols ferrugineux hydromorphes	Pseudo Gley	Limoneux en surface et limono-argileux en profondeur	Apte à la riziculture et aux décrues	Faible Infiltration	HP1
	Partie centrale			Limoneux en surface et argilo-limoneux à argileux en profondeur	Apte à la riziculture et aux décrues	Faible (Infiltration)	HP 2
	Versants	Sols ferrugineux lessivés	A concrétions	Limoneux en surface et argilo - limoneux à argileux tacheté de rouille en profondeur.	Aptes aux cultures de décrue	(Infiltration moyenne)	G 1
		Sols peu évolués	D'érosion climatique	Limoneux à argilo - limono - sableux en surface et argilo limoneux a argilo - sableux en profondeur	Aptes à la céréaliculture	Infiltration beaucoup levée en surface, plus ou moins faible profondeur	G 2

Il ressort de cette étude que les potentialités en terres rizicultivables et de décrues sont énormes et appréciables.

La majorité des sols présente une texture argilo limoneuse de couleur gris obscure en surface, devenant progressivement lourde (texture argileuse) en profondeur.

Ces sols très durs à l'état sec, présentent un indice de plasticité très élevé et adhésif à l'état humide. La position semi dépressionnaire des sols d'une part et leurs textures d'autres parts en font des zones assez propices à la riziculture et aux cultures de décrues.

Du point de vue fertilité chimique, il faut noter que le bas - fond est enrichi par les dépôts limoneux et les apports alluvionnaires lors des crues

VII ETUDE GEOTECHNIQUE

L'étude géotechnique a porté sur deux aspects :

- ✓ L'appréciation de la capacité de portance du sol en place.
- ✓ La disponibilité et l'appréciation des carrières pour l'extraction des matériaux entrant dans la construction de l'ouvrage.

Pour mener à bien cette étude, nos investigations ont consisté dans un premier temps à l'ouverture de fosses afin de procéder au diagnostic des différentes couches et substrat présent au niveau du site en vue de leur prise en compte dans la conception de l'aménagement.

Elle a été réalisée à partir de dix (10) sondages disposés comme suit :

- ✓ deux (2) à l'aval
- ✓ trois (3) en amont.
- ✓ cinq (5) sur l'axe de l'ouvrage, cela compte tenu de la longueur (1000m).

L'examen des échantillons prélevés a donné les résultats consignés dans le tableau ci après :

7-1 Résultats

A Paval

N°de sondage	Position	Profondeur	Texture	Couleur	Structure/Observations
1	Dans le lit mineur à 10m de l'axe de l'ouvrage	0-25cm	Limono – argilo sableuse	Gris obscur	Sol pulvérulent, structure particulière, enrichi en débris végétaux
		25-70cm	Limono –sableuse	Gris clair	Sol pulvérulent, structure particulière très peu stable
		70-100cm	argilo sableuse	gris	Légèrement stable
		100-150cm	argileuse	noir	Bonne assise pour l'implantation d'ouvrage : mais il faut prévoir d'éventuels risques de tassement différentiel
2	Dans le lit mineur à 50m de l'axe de l'ouvrage	0-20cm	Limono – argilo sableuse	Gris obscur	Enrichie en débris végétaux
		70-100cm	argilo sableuse	Gris tacheté de brun	Couche particulière à grumeleuse présentant de très nombreux pores pouvant être imbibées d'eau et emmagasinée pendant très longtemps.
		100-150cm	argileuse	noir	

En amont

N°de sondage	Position	Profondeur	Texture	Couleur	Structure/Observations
1	Dans le lit mineur à 10m de l'axe de l'ouvrage	0-25cm	Limono – argilo sableuse	Gris obscur	Sol pulvérulent. structure particulière. enrichi en débris végétaux
		25-80cm	Limono – argileuse	Grisâtre	Sol pulvérulent. nombreux pores fins
		80-150cm	argileuse	Noir foncée	Bonne assise pour l'implantation d'ouvrage : fentes de retrait moyennes. Risque d'envasement très minime à cause de la faiblesse des transports solides
2	Dans le lit mineur à 100m de l'axe de l'ouvrage	0-20cm	Limono – argilo - sableuse	Gris obscur	Enrichie en débris végétaux
		70-100cm	Argilo - sableuse	gris	Sol moyennement perméable. capacité de stockage d'eau assez faible.
		100-150cm	argileuse	noir	Couche semi imperméable. faible infiltration. bonne recharge de la nappe phréatique.
3	Dans le lit mineur à 150m de l'axe de l'ouvrage	0-20cm	Limono – argilo - sableuse	Gris obscur	Enrichie en débris végétaux
		60-90cm	Argilo - sableuse	gris	Sol moyennement perméable. capacité de stockage d'eau assez faible.
		90-150cm	argileuse	noir	Couche semi imperméable. faible infiltration. bonne recharge de la nappe phréatique.

Le long de l'axe de l'ouvrage projeté

N° de sondage	Position	Profondeur	Texture	Couleur	Structure/Observations
1	Sur le versant situé sur la rive droite à 100m de la borne B3 (du côté du village, au nord)	0-25cm	Limono - argilo sableuse	Gris obscur	Sol pulvérulent, structure particulière, enrichi en débris végétaux
		25-80cm	Limono - argileuse	Grisâtre	Sol pulvérulent, nombreux pores fins, convient pour la réalisation d'éventuel remblai
		80-200cm	argileuse	Noir foncée	Bonne assise pour l'implantation d'ouvrage : fondation assez stable : pas fentes de retrait.
2	Dans le lit majeur sur la rive droite à 400m de B3	0-20cm	Limono - argilo - sableuse	Gris obscur	Enrichie en débris végétaux
		70-100cm	Argilo - sableuse	gris	Sol peu stable, fentes de retrait peu significatives.
		100-200cm	argileuse	noir	Bonne assise pour l'implantation d'ouvrage : tenir compte du phénomène de tassement
3	Dans le lit mineur à 90m de B2	0-25cm	Limono - argilo sableuse	Gris obscur	Sol pulvérulent, structure particulière, enrichi en débris végétaux
		25-80cm	Limono - argileuse	Grisâtre	Sol pulvérulent, nombreux pores fins
		80-250cm	argileuse	Noir foncée	Bonne assise pour l'implantation d'ouvrage : fentes de retrait moyennes.
4	Dans le lit majeur sur la rive gauche à 250 m de B2	0-20cm	Limono - argilo - sableuse	Gris obscur	Enrichie en débris végétaux
		70-100cm	Argilo - sableuse	gris	Sol peu stable, fentes de retrait peu significatives.
		100-200cm	argileuse	noir	Bonne assise pour l'implantation d'ouvrage : tenir compte du phénomène de tassement

5	Sur le versant situé sur la rive gauche à 100m de la borne B1 (du côté sud, vers Krémis)	0-25cm	Limono – argilo sableuse	Gris obscur	Sol pulvérulent, structure particulière, enrichi en débris végétaux
		25-80cm	Limono – argileuse	Grisâtre	Sol pulvérulent, nombreux pores fins, convient pour la réalisation d'éventuel remblai
		80-200cm	argileuse	Noir foncée	Bonne assise pour l'implantation d'ouvrage ; fondation assez stable ; pas fentes de retrait.

7-2 Disponibilité en matériaux locaux

Hormis le gravier, tous les matériaux locaux entrant dans la construction de l'ouvrage sont disponibles dans la zone du projet, dans un rayon maximal de 15km.
Quant au gravier, il est disponible en qualité et en quantité suffisante dans un rayon de 30 à 40km du site

Désignation	Carrières	Distance	Qualité	Quantité (m ³)
Sable	Cours d'eau	2 à 5km	Appréciable	suffisante
Gravier	Ramassage, cours d'eau	30 à 40km	Appréciable	Suffisante
Moellons	Collines	10 à 15km	Appréciable	Suffisante
Lau	Forages et puits du village	4 à 5km	Bonne	-----

7-3 Conclusions

Les principaux renseignements qu'il faut retenir de l'analyse des résultats et qui vont nous guider pour le choix des variantes techniques d'aménagement sont les suivants :

- le bas fond présente un sol très profond à couverture argilo – limoneuse assez épaisse (0,25m à 1,0m), ce qui favorise l'enracinement profond des plants et atténue les risques liés aux périodes de sécheresse.
- La couche argilo – limoneuse est très dure à l'état sec et adhésif à l'humectation. Cette disposition rend son labour très difficile voir impossible à l'état humide. A cet effet, nous conseillons de mettre l'accent sur le labour de fin de cycle bien effectué, cela compte tenu de l'imprévisibilité des crues.
- L'aptitude du sol en place est révélatrice d'une saturation rapide et précoce pouvant survenir dès les premières crues. Ce qui nous amène à opter pour un bon système de vidange afin de prévenir des risques certains de noyade et de pourrissement des plants. Ce système sera le plus efficace possible afin d'assurer le drainage et le ressuyage des sols.
- Les couches rencontrées (argile) sur l'axe de l'ouvrage projeté sont du point de vue géotechnique compatible avec les structures envisagées.

La perméabilité est un paramètre qui intervient dans l'estimation de l'infiltration et le maintien de la lame d'eau nécessaire aux cultures.

Compte tenu du fait qu'il s'agit pour ces genres d'aménagement d'une submersion semi contrôlée où l'alimentation en eau est assurée par les eaux de ruissellement provenant du bassin versant, ce paramètre ne pourra constituer en aucun cas une contrainte majeure. C'est donc plus le drainage des sols qui pose problèmes et influencera le comportement des cultures.

ETUDES DES RESSOURCES ET DES BESOINS EN EAU

VIII BESOINS EN EAU DES CULTURES

Les besoins en eau de façon générale sont fonction : du type de culture, du système racinaire, de la nature du sol, du stade de développement de la culture, de la saison, de l'évaporation etc.

8-1 Riziculture

Superficie agricole utile : 33,25 hectares

La capacité utile exprimée en mm d'eau par m de profondeur de sol est de 90mm/m, cas du sol argilo limoneux.

La profondeur de la couche racinée est de 0,6m.

On choisit d'irriguer jusqu'à 20% de profondeur en plus que la profondeur racinée c'est-à-dire $(0,6m + (0,6 * 20/100)) = 0,72m$.

La réserve utile maximale de la couche de sol à irriguer équivalant à la capacité utile est de $(90 * 0,72) = 65mm$

Le pouvoir évaporatif de l'air au cours de la période est de 9mm/j.

Le coefficient cultural du riz en mi saison (cas le plus défavorable) est de 1,1

La demi-réserve utile de sol à arroser est de $65/2 = 32,5mm$

L'évapotranspiration journalière est de $9mm * 1,1 = 9,9mm$

La dose ou le besoin d'irrigation est alors de 32,5mm car la réserve réellement disponible ne pourrait jamais être inférieure à la moitié de la réserve utile.

La fréquence d'irrigation est $32,5/9,9 = 3,28j$ on prend 3 jours

La dose journalière est de $32,5/3 = 10,75mm$ d'eau

Pour 33,25 ha

Le besoin journalier en riziculture est $10,75/1000 * 332500 = 3466,87m^3/j$

Le besoin en eau au cours du cycle du riz est de :

Le cycle du riz estimé à 110 jours, mais 90 jours d'irrigation réelle :

Besoin en eau : $3466,87 * 90 = 312 018,3m^3$

8-2 Culture de décrue

Superficie agricole utile : 21,75hectares

Le besoin en eau des cultures de décrue est fonction de la durée et de la hauteur de la crue. Ces critères sont satisfaits dans notre contexte ci

8-3 Les ressources en eau disponibles dans le périmètre

Les apports directs sont constitués par des eaux ruisselées sur le BV.

La hauteur moyenne estimée de la lame d'eau écoulee (h) est de :

$500mm * 12/100 = 60 mm$

$$Ve = 10^3 \times Sh$$

Ve = volume écoulé en m^3

S = superficie du bassin versant en km^2

h = la lame d'eau écoulée mm

$$V = 10^3 \times 94 \times 60 = 5\,640\,000 \text{ m}^3/\text{an}$$

PROPOSITION D'AMENAGEMENT

IX Projet d'aménagement

9-1 Constat général

Le bas - fond de Kakoulou se caractérise par l'immensité de ses zones d'épandages, malheureusement peu exploitées en agriculture. Les voisinages immédiats du cours d'eau et la partie centrale du bas - fond bien qu'enrichies par les dépôts limoneux restent inexploitées à cause de la non maîtrise de l'eau. Cependant une importante partie est utilisée pour le pâturage des animaux.

9-2 Fonctions du bas- fond

Le bas -fond est un sous terroir à fonctions multiples pour les villageois. Ses fonctions essentielles se resument à :

- L'agriculture : Des champs de sorgho pluvial et de décrue bordent le bas fond de Sangadou, bien que cela soit minime.
Le Champ Ecole de riziculture est installé sur un demi-hectare, dans le cadre du PADDY (Programme d' Appui au Développement Durable de Yélimané), un des partenaires privilégiés du Projet. Dans ce Champ Ecole un aménagement sommaire (prise d'eau avec des sacs de terre sur le cours d'eau alimentant le bas fond) réalisé par l'expert Vietnamien en Gestion de l'eau et son homologue malien pour irriguer les casiers de riz.
- Pastoralisme: Lieu de pâturage des animaux du village, des villages voisins et surtout pour les transhumants venant de la Mauritanie. L'abondance des herbacées, des d'arbustes, quelques épineux ; appréciées dans l'alimentation des animaux attire les transhumants venant de la Mauritanie. Il n'est pas rare de constater des colonies de dromadaires
- Cueillette : Le bas - fond et ses environs constituent une zone de cueillette notamment pour les dattes sauvages, le jujube.

9-3 Contraintes majeures

Les contraintes majeures qui pèsent sur le développement de l'agriculture restent liées à la non maîtrise de l'eau et au manque d'équipements.

9-4 Choix du site

Le site de l'ouvrage a été choisi à l'issu d'une visite de diagnostic de la zone. Au cours de cette visite, l'équipe du Génie Rural a parcouru le bas - fond sur près de 3km de long en compagnie des décideurs du village.

A l'issu de la visite, deux sites potentiellement aménageables ont été répertoriés.

Ces deux sites, du point de vue géomorphologique, diffèrent par leurs caractéristiques physiques à savoir la présence ou non de zone de calage d'ouvrage.

Sur le plan de la mise en valeur, les potentialités en termes de surfaces exploitables y sont très importantes au niveau des deux sites. Ce pendant si le site amont à l'avantage d'être plus proche du village et exploité actuellement en cultures céréalières, il n'en demeure pas moins que la succession d'une multitude de zones d'alimentations sur une longueur minimale

de 1500m et le manque de seuil pour le calage de l'ouvrage limitent sa mise en valeur. Par contre, le site aval situé à 3km du village, aujourd'hui inexploité présente des meilleures dispositions à savoir l'existence d'un seuil aussi minime soit il permettant le calage de l'ouvrage. Selon les décideurs villageois ce site ne présente aucun problème quant à la distribution des parcelles post aménagement.

Ce tableau ci-dessous retrace les potentialités des deux sites répertoriés.

	Description des sites	Avantages	Inconvénient
Site 1	Situé non loin du village	<ul style="list-style-type: none"> . exploité actuellement en cultures sèches . pertes faibles en eau importante . surface cultivable importante 	<ul style="list-style-type: none"> . manque de zone de calage . volume des travaux très important . exposé à la divagation des animaux . coût de l'ouvrage très élevé Risque de contournement de l'ouvrage. . conflits d'intérêt entre bénéficiaires (agriculteurs et éleveurs)
Site 2	Situé en aval du Premier site à 3km du village	<ul style="list-style-type: none"> . volume de travail moins élevé par rapport au premier . inondation directe des surfaces rizicultivables . sol bien humidifié . possibilités de cultures dérobées . facilité de gestion de l'ouvrage régulateur . moins de risque lié à la divagation des animaux 	<ul style="list-style-type: none"> . inondation de certaines parcelles . conflits entre riziculteurs . pertes d'eau par vidange . Eloignement du village (3km)

9-5 Etude Hydrologique :

Après remplissage du réservoir, les excédents d'eau stockés en amont de l'ouvrage sont évacués vers l'aval à travers un évacuateur de crues. C'est pour permettre le dimensionnement de cet évacuateur de crues, ainsi que certaines parties de l'ouvrage auxquelles l'inondation peut poser problème, que la présente étude est réalisée. Elle est axée essentiellement sur l'estimation du débit de la crue contre laquelle il faut protéger l'ouvrage. La connaissance de ce débit permet de concevoir l'évacuateur de crue, ainsi que l'ensemble du dispositif de protection de l'ouvrage.

Pour ce faire, il est primordial de connaître les facteurs d'écoulement du bassin versant :

a) Caractéristiques physiques

Les coordonnées géographiques du site permettent de situer le bassin versant sur la carte IGN du Mali : Feuille de Yelimané numéro ND-29-XX au 1/200000.

Le bassin versant est localisable entre les coordonnées 15° 20' - 15° 30' latitude Nord, et 10° 10' - 10° 30' longitude Ouest. Il couvre une superficie de 94km².

Il se dessine dans un vaste plateau imprimé de collines et de petites vallées inondables pendant la saison des pluies.

Son relief est quasiment compris entre les courbes d'altitude 150 et 220 m.

Cette corrélation s'exprime par la formule : $Im \approx \frac{0,026}{\sqrt{S}}$

La pente moyenne du bassin, calculée à partir des repères altimétriques de la carte IGN, permet de classer le relief dans la catégorie R₂.

La végétation est du type savane arbustive avec une prédominance d'espèces épineuses.

Les sols à majorité limono argileux à limono sableux sont quasiment dépourvus de couverture arbustive plus particulièrement au niveau des versants.

La perméabilité du bassin est du type P3 (bassins homogènes assez perméables).

La pluie décennale (P10) du lieu déterminée sur la carte des isohyètes donne pour le bassin une hauteur pluviométrique de 90 mm

b) Caractéristiques climatiques :

Par l'insuffisance de données sur le site du projet, l'analyse du climat a été faite à partir de la série climatique du poste météorologique de Yelimané situé à 55km au sud.

Le cercle de Yelimané et plus particulièrement sa partie Nord est située à la limite de bande sahélo - saharienne avec une pluviométrie moyenne annuelle oscillant autour de 400 à 600 mm de hauteur d'eau par an.

La répartition pluviométrique se caractérise par une forte concentration entre juin et octobre avec un maximum en août.

La courbe des températures montre deux maxima, le plus important vers avril - mai et le second en octobre - novembre.

L'évaporation totale avoisine 2500 mm/an.

La situation au niveau de la station météorologique de Yelimané de 1997 à 2008 se résume comme suit :

Régime climatique : type tropical sèche,

Pluie annuelle moyenne Pan= 500mm

Température minimum moyenne =25°

Température maximum moyenne =43°

Pluie décennale p10 =100mm

Humidité relative minimum =35%

Humidité relative maximum =65%

Évaporation annuelle =2500mm

Les hauteurs de pluie enregistrées pendant ces 11 dernières années au niveau de la station météorologique de Yelimané se présentent comme suit:

Années	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Pan	432,8	712,8	508,5	383,5	277,3	649,4	457,1	483,5	705,6	604,4	585,0

NB : la plus forte pluie journalière enregistrée au cours de cette période est 117.7mm : observée le 07/08/2007

La hauteur moyenne trouvée à partir de ce tableau est de 527.26mm. Ce qui cadre avec les données de la carte des isohyètes de source CIPH. Compte tenu de la position du site nous adoptons pour le projet les valeurs suivantes :

Pan= 500mm

P₁₀ = 100mm

Le périmètre du bassin déterminé au curvimètre équivaut à 52km. D'après la relation :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec

K_c : l'indice de compacité de Gravelius ou indice de forme

P : le périmètre du bassin=52km.

S : la surface du bassin = 94km²

On trouve K_c =1.50 : ce qui signifie que le bassin n'est pas ramassé synonyme d'un temps de concentration des eaux plus long.

La longueur du rectangle équivalent est égale à 21.65km. I_g est égal à 3.25m/km : I_{geor} est égal à 25m/km

K_r=12%

c) Estimation du débit méthode CIEH

L'estimation de la crue du projet a été faite par la méthode CIEH. source bulletin d'irrigation et de drainage de la FAO N°54 (Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche) Les formules utilisées sont les équations empiriques pour la prédétermination des crues de fréquence décennale dans les régions sahéliennes et tropicales sèches. Les résultats obtenus sont les suivants :

$$\text{Equation N°2 : } Q = S^{0.59} \times I_g^{0.588} = 29,18m^3 / s$$

$$\text{Equation N°10 : } Q = S^{0.696} \times I_g^{0.953} \times K_{r10}^{0.534} = 22,81m^3 / s$$

$$\text{Equation N°11 : } Q = S^{0.524} \times K_{r10}^{0.982} = 50,87m^3 / s$$

$$\text{Equation N°12 : } Q = S^{0.643} \times I_g^{0.406} \times K_{r10}^{1.038} = 37,54m^3 / s$$

$$\text{Equation N°42 : } Q = S^{0.643} \times I_g^{0.399} \times K_{r10}^{1.019} = 34,09m^3 / s$$

$$\text{Equation N°44 : } Q = S^{0.459} \times K_{r10}^{0.813} \times P_{m10}^{-1.301} = 30,80m^3 / s$$

Pour le débit du projet, nous adoptons la plus grande valeur Q_p=50,87m³/s.

d) Caractéristiques géomorphologiques

Le site du projet se localise dans un espace qui longe le côté sud du village. Le relief est caractérisé par la présence de collines disposées en chapelet et de multitudes zones de dépression dont celle faisant l'objet d'étude.

Du point de vue géomorphologique, les formations les plus récentes comprennent:

- Les alluvions peu importantes tant en surface qu'en épaisseur, généralement localisés dans les lits de marigots, avec une texture à tendance argilo-sableuse
- Les éluvions : d'une importance assez modérée, elles résultent de la décomposition des reliefs gréseux repris et transportés par le vent et l'eau.

Le paysage comprend trois unités caractéristiques :

- Des bas groupes et glacis d'érosion carapacés, de formes faiblement convexe ou ondulées et des versants inclinés avec la présence de petits gradins.
- Des glacis d'épandage : zones à pente faible entaillée par un réseau de drainage relativement dense ou encaissé
- Des zones étroites, encaissées dans le bas glacis un lit mineur plus ou moins nettement individualisé.

X DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

10-1 Principe et schéma d'aménagement

Le principe de l'aménagement est la réalisation d'un ouvrage hydro agricole en vue de la riziculture en submersion contrôlée dans le bas - fond.

Cet ouvrage sera muni d'un système de régulation permettant de contrôler la lame d'eau dans les parcelles.

10-2 Côte du plan d'eau des exploitations rizicoles:

Le site du projet est situé aux voisinages immédiats domaines d'exploitations agricoles du village. La partie médiane de ces parcelles traditionnellement exploitées en riziculture et en cultures de décrues est inscrite à l'intérieur de la courbe 155.70 (déterminé levé GPS). Les versants situés au-delà sont réservés aux cultures sèches.

10-3 Côte du plan d'eau normal du site:

En raison de la topographie du terrain, la superficie inondée est très limitée. Environ 34,77% de la superficie (38,25ha) sont circonscrites à l'intérieur de la courbe 155.00 ; 19,77% (21,75ha) comprises entre 155.00 et 155.25 et 45,46% (50ha) entre 155.25 et 155.75

Suite à l'aménagement nous tenterons de porter le plan d'eau à une cote admissible permettant l'atteinte des objectifs du projet. Les différentes simulations nous autorisent un rehaussement maximal du plan d'eau jusqu'à la cote 155.30

Le type d'ouvrages préconisé consiste à: un seuil déversant muni de batardeaux

a) Déversoir :

Rappelons que l'ouvrage sera entièrement déversant sur toute sa longueur. L'ouvrage sera équipé d'un déversoir du type central muni d'un bassin de dissipation d'une longueur de 130m. Cette option vise surtout à minimiser les risques d'érosion des berges.

b) Système de régulation :

Pour permettre une montée progressive de l'eau dans le bas - fond compatible avec la riziculture, il est prévu un système de régulation constitué de deux pertuis munis de batardeaux. Cela permet en cas de crue de régler le plan d'eau en fonction du stade de développement des plants de riz en tenant compte de leurs besoins en eau. Si les plants sont assez jeunes pour supporter une lame d'eau importante on doit pouvoir régler le plan d'eau à une hauteur supportable.

Pour permettre la formation d'une réserve d'eau dans le lit du marigot pour les activités post-hivernales, la cote du plan d'eau sera maintenue à 155.00. Par un système de jeu de batardeaux, les exploitants enlèveront ou rajouteront des éléments pour réguler le plan d'eau dans les parcelles.

- Côte du plan d'eau normal: La zone naturellement submergée en cas de crue est entièrement inscrite à l'intérieur de la courbe 155.10.

Suite à l'aménagement nous tenterons de porter le plan d'eau à une cote plus élevée. Les différentes simulations autorisent le rehaussement du plan d'eau à la cote 155.30

- Longueur du déversoir : Le déversoir sera du type central. Son emplacement dans la partie centrale vise surtout à minimiser les risques d'érosion des berges. Pour des raisons économiques et compte tenu de la charge d'eau admissible dans la zone de dissipation, nous fixons la longueur du bassin de dissipation à 130 m.
- **Caractéristiques de la retenue** : La capacité naturelle de réserve du marigot sans aménagement est estimée à 15 000 m³ ; celle des zones d'épandage à 8 000m³ ; soit une réserves totale de 23 000m³. La réserve d'eau créée par le barrage est estimée à 99 750 m³. La capacité totale de la retenue s'élève donc à 122 750 m³. La hauteur maximale d'eau est de 1.90m.
- Epaisseur de la lame d'eau déversante : la formule de base pour le calcul de la lame d'eau déversante est :

$$Q \approx mL \sqrt{2gH}^{3/2}$$

Avec Q le débit du projet égal à 50,87m³/s

m= 0.4

L= 1000 m

g = 9,81

La hauteur d'eau (H) au passage de la crue du projet sera :

$$H \approx \left(\frac{Q}{mL\sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{50.87}{0,40 \times 130 \sqrt{19.62}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

On trouve H=0.10

- Débit d'évacuation - temps de vidange : Pour permettre une montée progressive de l'eau dans le bas - fond compatible avec la riziculture un système de régulation a été prévu. Par exemple quand une crue arrive alors que les plants de riz sont assez jeunes pour supporter une lame d'eau importante on doit pouvoir régler le plan d'eau à une hauteur supportable par le riz.

Deux pertuis équipés de batardeaux de 1m d'ouverture sont donc prévus pour jouer ce rôle de régulation.

Pour permettre la formation d'une réserve d'eau pour les activités post hivernage, le plan d'eau dans le marigot sera maintenu à la cote 154.50. Les paysans enlèveront ou rajouteront les batardeaux pour réguler le plan d'eau dans les exploitations.

Le calcul du débit à évacuer par les pertuis permet de déterminer la durée de vidange de la retenue en fonction du volume d'eau compris entre la hauteur H du plan d'eau maximale et la hauteur (h) désirée. Ceci permet de voir si le temps de vidange est compatible avec la culture pratiquée.

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

S_1 est la superficie du plan d'eau à la cote H

S_2 la superficie du plan d'eau à la cote h

Le débit moyen du pertuis

La surface rizicultivable est dans le présent projet, comprise entre les côtes 154.50 et 155.30 soit un plan d'eau de 0.50m

En cas de crue précoce il faudra vidanger la plaine de la côte 155.30 à la côte 154.50. Le volume d'eau à évacuer est de 65 640m³.

Le débit moyen du pertuis est donné par la formule :

$$Q = mL\sqrt{2g} \left(\frac{H-h}{2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Le temps de vidange

$$T = \frac{V}{Q \times 3600}$$

Le temps de vidange correspond à 14 heures.

Ce temps de vidange est compatible avec la durée de submersion supportable par le riz.

N.B : Les calculs ci dessus indiquent que le repiquage est plus avantageux que le semis direct : en ce sens que le repiquage éviterait de vidanger complètement le bas - fond après une pluie ou attendre plusieurs jours pour le ressuage du sol en vue de semer. Il évitera également une noyade des semis en cas de crue précoce.

C'est pourquoi il est conseillé d'utiliser le système de repiquage et de choisir des variétés du riz à cycle très court.

Les pépinières seront réalisées près des puits pour les irriguer avant l'arrivée des pluies. Notons que le repiquage augmente les rendements dans des proportions importantes et permet de mieux lutter contre les mauvaises herbes.

XI Proposition d'aménagement

Le type d'ouvrage préconisé pour la maîtrise des écoulements dans le bas - fond consiste en un seuil déversant

Ce type d'ouvrage est destiné à maintenir une hauteur d'eau compatible au développement des cultures tout en assurant le rehaussement de la nappe phréatique. Après le tarissement de la réserve les activités post hivernales pourront être facilement menées autour des puisards.

La hauteur d'eau maximale de submersion de l'ouvrage lors du passage de la crue du projet est déterminée par la formule suivante :

$$Q \approx mL\sqrt{2g}H^{3/2}$$

Avec Q le débit du projet égal à 50,87m³/s

m = 0,4

L = 1000 m

g = 9,81

La hauteur d'eau (H) au passage de la crue du projet sera :

$$H \approx \left(\frac{Q}{mL\sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{50,87}{0,40 \times 1000 \sqrt{19,62}} \right)^{2/3}$$

On trouve H = 0,10m

XII DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

12-1 Cote de calage du plan d'eau (PEN)

Le but de l'ouvrage étant de retarder les ruissellements ou la création d'une réserve d'eau de surface pouvant être durablement utilisée par les paysans. La cote de calage du plan d'eau sera donc fixée en fonction des paramètres topographiques du site.

12-4 Le corps du barrage

L'ouvrage projeté consiste en un seuil déversant d'une longueur 1030mètres exécutés en béton cyclopéen dosé à 250kg/m^3 . Sur les extrémités il est prévu un dispositif en enrochement libre de 1,50m de large ; surélevé de 0,30m par rapport à la crête de l'ouvrage afin de contenir les écoulements lors des plus fortes crues. La longueur totale de cette protection est de 40m, soit une longueur de 20m de part et d'autres. La longueur totale de l'ouvrage est de 1070m.

Il comporte trois parties:

- Une partie centrale munie de pertuis avec batardeaux permettant l'évacuation des crues ordinaires du marigot. Elle comprend un déversoir proprement dit, sur une longueur de 90m, suivi d'un bassin de dissipation. Ici la section est de forme trapézoïdale avec un parement aval de pente 1/1 et un parement amont vertical. L'étanchéité dans la fondation est assurée par un mur de 0,5m d'épaisseur à la base mais qui s'élargie en remontant vers le TN suivant une pente de 1/2. La crête est de 0,5m de large, arasée à la cote 155,30. La profondeur de la tranchée d'étanchéité est de 2,00m.
- Sur les berges, la section sera de forme rectangulaire de 0,50m avec une longueur de 390m sur la rive gauche et 550 sur la rive droite ; soit une longueur totale de 940m.

A ce niveau, la protection en aval est garantie par des enrochements secs placés dans un décapage de 0,40m sur une largeur de 1m.

- Sur les extrémités, il est prévu un dispositif en enrochement libre de 0,50m de large ; surélevé de 0,30m par rapport à la crête de l'ouvrage afin de contenir les écoulements lors des plus fortes crues. La longueur totale de cette protection est de 40m.

XIII Modalités de réalisation des travaux

Les travaux doivent être réalisés à l'entreprise ; mais dans le souci de mieux impliquer la population et assurer une meilleure appropriation de l'aménagement par les bénéficiaires celle-ci doit fournir en nature une contribution pour la réalisation des travaux à Hautes Intensité de Main d'œuvre (HIMO).

Dans tous les cas la main d'œuvre villageoise doit être mobilisée pour les travaux non qualifiée c'est à dire la fourniture de la main d'œuvre pour l'approvisionnement en matériaux, l'exécution des fouilles d'encrage et de maçonnerie. Le village compte plus 300 actifs. Il peut mobiliser par jour 15 à 20 pour les travaux. Les femmes peuvent être également mobilisées pour le ravitaillement en eau.

Les travaux doivent être réalisés entre les mois de novembre, et d'avril-mai.

XIV Mise en valeur actuelle de la zone à aménager

Rappelons que le site proposé à l'aménagement ne fait aujourd'hui l'objet d'aucune forme d'exploitation agricole de quelque nature que ce soit. Cette zone laissée actuellement en jachère sert de parcours pour les animaux du village, ceux des villages voisins et des transhumants venant de la Mauritanie. Sur le plan domestique, la plaine et ses environs constituent une importante zone de cueillette pour la population locale.

14-1 Potentialités et contraintes liées à l'exploitation

Ainsi, sur le plan topographique, on note la présence d'un seuil naturel aussi minime soit il dans la zone d'implantation du futur ouvrage. Ce seuil qui assure une certaine réserve naturelle en eau représente un acquis de 0,30 à 0,90m de hauteur d'eau.

Partant du profil en travers du marigot, la crête de l'ouvrage ne doit pas dépasser la cote 155,30. En tenant compte de la charge d'eau au déversement, nous ne pouvons adopter que la cote 155,30 pour le seuil du déversoir et par conséquent la cote du plan d'eau normal de la retenue.

Cette cote permet de limiter la longueur des digues de fermeture et de disposer d'une hauteur d'eau de 1,90 à 2,00m dans la partie la plus profondeur de la retenue (lit mineur du marigot).

Pour ces raisons nous adoptons la cote 155,30 pour le calage du plan d'eau normal de la retenue (PEN).

12-2 Emplacement du déversoir :

La partie centrale de l'ouvrage repose sur un socle argileux sur lequel le déversoir peut être disposé.

L'ouvrage est entièrement déversant sur toute sa longueur. Il comporte tout de même un déversoir central muni de bassin de dissipation situé au droit du lit mineur. Quant aux parties situées sur les berges, elles seront protégées en enrochement.

12-3 Type d'évacuateur de crue et de bassin de dissipation

Le transit des crues se fait sur le déversoir qui consiste en un évacuateur du type trapézoïdal dans le lit mineur et rectiligne dans les zones d'épandages (lit majeur). L'ouvrage projeté consiste à seuil poids, suivi d'un bassin de dissipation. Compte tenue de la faiblesse de la charge sur le déversoir, la construction des dispositifs permettant de raccourcir la longueur de la zone de dissipation à l'intérieur du bassin (blocs chicanes) ne s'impose pas.

La pente du parement de chute du déversoir central est de 1/1 et ce parement se termine dans la zone de dissipation dans lequel doit se situer le ressaut de transition entre l'écoulement torrentiel et l'écoulement fluvial dans le lit.

La largeur du bassin de dissipation sera de 4m dans la ravine (sur une longueur de 10m) et 2m hors ravine sur une longueur de 80m ; soit une longueur total de 90m pour le bassin de dissipation. Le fond sera exécuté en béton cyclopéen dosé à 250kg/m^3 . Ici la hauteur maximale de la pelle amont est de 1,90m et le bassin est enfoncé à 0,50m, d'où une hauteur maximale de chute de 2,40m.

Le corps de l'ouvrage sera réalisé en béton cyclopéen qui est prolongé dans le sous-sol par un mur d'étanchéité également en béton cyclopéen dosé à 250kg/m^3 .

Au niveau des berges, la profondeur de la fondation sera comprise entre 0,80 et 1,2m avec une largeur de 0,50m.

La zone à aménager présente un profil transversal relativement plat. Le bas – fond est alimenté par une multitude de petits cours d'eau se réunissant à l'intérieur du site pour former un marigot où les écoulements sont canalisés dans une étroite section. Le marigot présente des surfaces d'épandage de crues très importantes sur les berges. Du point de vue géotechnique, le site se caractérise par la présence d'un tapis argileux dans la zone d'assise de l'ouvrage. Sur le plan hydraulique, on note en amont la présence de très nombreuses poches d'eau qui subsistent très peu après la saison de pluies. Avec cet aménagement le creusement de puits maraichers devient facile, ce qui permet le développement des activités de contre saison.

14-2 Analyse des contraintes et propositions d'aménagements

Sur le plan hydrologique, le site est assez fourni en eau grâce à l'importance de son bassin versant (94km²). Les écoulements sont assez fréquents mais très éphémères. La présence de quelques poches d'eau et l'existence de micro seuils naturels permettent le stockage d'une certaine quantité d'eau qu'utilise la population pour la riziculture, les cultures de décrue.

Quant au maraîchage et à l'arboriculture ils constituent des nouvelles expériences dans la zone et occupent des superficies très dérisoires.

Sur le plan aménagement, le profil relativement étalé du site nous amène à opter pour un seuil déversant, exécuté en béton cyclopéen

XV Valorisation de l'aménagement

Il est évident que la réalisation de l'ouvrage fait l'unanimité au village, l'objectif prioritaire étant l'eau pour la riziculture. Au delà de cette priorité, les villageois se sont fixés plusieurs objectifs subsidiaires (Maraîchage, horticulture, recharge de la nappe phréatique).

Dans le but de bien clarifier les enjeux de l'aménagement un voyage d'étude sera organisé sur un site expérimenté en matière de valorisation d'aménagement hydro agricole.

Ce voyage qui se réalisera avant le début des travaux a un triple objectif :

- D'abord préparer la population à la bonne organisation des travaux de mise en œuvre des différents ouvrages du projet.
- Former les membres du comité de gestion, à la gestion des vannes et à l'entretien des ouvrages qui en générale sont potentiellement les principales sources de conflits entre les exploitants.
- Former les exploitants des parcelles à la mise en œuvre des nouvelles techniques culturales qui s'imposent suite aux changements des conditions hydrologiques et hydrauliques de la plaine.

Il concernera principalement les membres du comité de gestion et quelques exploitants, et comprendra deux phases:

- une phase de visite de réalisations suivies de causerie avec les exploitants et les responsables chargés de la gestion des ouvrages;
- Une phase de formation théorique sur les itinéraires techniques de la riziculture et du maraîchage, la visualisation de Diapos, les démonstrations pratiques.

Les thèmes suivants seront abordés:

- *organisation du chantier* : formation des équipes, répartition des tâches, la gestion des conflits, difficultés éventuelles etc.;

- *foncier* : modalités de répartition des terres, consensus entre propriétaires et non propriétaires de parcelles ;
- *Valorisation* : A ce niveau les thèmes à débattre concernent :
 - les activités menées dans la plaine : possibilité d'une gestion concertée
 - les variétés en fonction de la frange d'eau
 - le calendrier agricole
 - les techniques culturales
 - la gestion de la vanne
 - les instances mises en place pour la gestion et l'entretien de l'outil :
 - Constitution, fonctionnement, les difficultés vécues, les stratégies adoptées.

Les réponses à toutes ces questions édifieront les visiteurs sur ce que c'est qu'un ouvrage hydro agricole, et les aideront à améliorer leurs connaissances en matière de riziculture en submersion semis contrôlée, maraîchage et arboriculture.

La visite sera restituée au village par les membres du comité de gestion en présence du formateur. Ce dernier utilisera à profit les idées fortes ressorties pour sensibiliser l'ensemble des bénéficiaires.

- *Valorisation agricole* : La surface du bas - fond est estimée à environ 110 ha. L'ouvrage prévu (cf dimensions étude d'aménagement) permet d'alimenter 60 ha, soit plus de 50% du potentiel existant. Lorsque le barrage est plein en hivernage, 38,25 ha seront inondés avec une lame d'eau moyenne de 0,30 à 0,50 m). Par contre pour la riziculture 33,25 ha pourront être exploités avec une lame d'eau moyenne de 0,25 à 0,30 m ; 21,75ha peuvent s'adapter mieux au riz nérica et aux cultures de décrue et les 50 hectares pourront être consacrés à l'arboriculture. Quant au maraîchage, il sera pratiqué en rotation sur les parcelles rizicoles et de décrue.

Après aménagement, les variétés conseillées sont celles hâtives, plus rustiques pour la zone (Dourado, c74). L'expérimentation de la variété vietnamienne récemment introduite pourra être poursuivie.

La maîtrise de ces parcelles dépendra de la bonne gestion des batardeaux d'une part, du calendrier agricole et des techniques culturales adoptées par les exploitants (es) d'autre part.

Dans le but d'éviter les conflits d'intérêts au niveau de la communauté, nous proposons un calendrier souple de gestion des batardeaux permettant une valorisation optimale de la plaine (stockage d'eau en amont pour infiltration et riziculture en hivernage, maraîchage en contre saison).

Gestion batardeaux	Période	Stade de développement des cultures
Fermeture batardeaux	Début juin-mi juillet	Labour- semis
Ouverture batardeaux	Mi juillet-mi août.	Semis- levée- tallage
Fermeture batardeaux	A partir de mi- août	Tallage- Montage – Epiaison – Floraison - Maturation

Aussi la technique de repiquage et la culture de variétés tolérantes à la lame d'eau devront être pratiquées.

Les versants immédiats du bas fond et les parcelles plus en amont et en aval de l'ouvrage sont réservés aux cultures sèches.

La recharge de la nappe phréatique permettra le développement du maraîchage. Après le tarissement du marigot l'arrosage des exploitations maraîchères pourra être assuré à partir de puisards.

15-1 Zonage des parcelles

Superficie agricole utile : 105 hectares

Activités	Superficie (ha)	Taux d'occupation
Riziculture	33,25	31,67%
Décrue	21,75	20,71%
Maraîchage	Variable en rotation avec la riziculture et les cultures de décrue	Variable
Arboriculture	50	47,62%

15.2 Système d'irrigation complémentaire

En régions tropicales semi-arides, de la limite de culture du mil à celle du cotonnier (environ 300 à 700/800 mm), la pluviosité permet une production agricole relativement variée (mil, sorgho, maïs, arachide, niébé, riz...) mais les rendements sont très aléatoires, avec des échecs graves inévitables. Et ces rendements, dans bien des cas, restent faibles en raison de la difficulté, voire de l'impossibilité, d'intensifier le système de culture ; celui-ci est en effet dominé par la permanence d'un risque climatique majeur, d'autant plus menaçant que la lame pluviale est plus faible.

La loi agronomique du facteur limitant (l'eau, en l'occurrence) exclut l'intérêt de rechercher des cultivars plus productifs que ne le sont les variétés traditionnelles ; elle exclut de même l'intérêt d'expérimenter des formules de fumure minérale ; elle exclut en somme toute introduction d'intrants dans le système de culture.

A défaut d'eau pour irriguer, la seule solution consiste dans l'application de techniques d'aridoculture qui visent à favoriser l'infiltration et la conservation de l'eau pluviale ; si non il reste aléatoire d'investir dans la culture.

Lorsque l'on dispose d'eau, quoiqu'en quantité généralement insuffisante pour assurer une irrigation permanente, une amélioration très significative consiste à faire des apports d'eau complémentaire aux pluies.

En irrigation classique permanente, totale ou complémentaire, l'objectif est soit de maximiser le rendement de la culture, quand la ressource en eau est abondante et peu chère ; soit d'optimiser le revenu économique, lorsque la ressource, sans être forcément limitée, est onéreuse.

En irrigation complémentaire où les ressources en eau sont limitées (pluie aléatoire), il convient de minimiser l'apport d'eau, faisant en sorte de tirer la meilleure efficacité de cet apport ; c'est une irrigation complémentaire occasionnelle ; dans le but d'intensifier le système de culture.

En absence du logiciel ORACLE (ORSTOM Apport Complémentaire Cah. ORSTOM, A. Pk dol... Vol. XXII, no 1, 1986: 51-62 Limité d'Eau) qui propose doses et dates d'irrigation optimales, en même temps qu'une estimation du rendement relatif au rendement potentiel si l'on a pu établir une fonction de production nous proposons quelques techniques :

1. Les diguettes isohypses

Des diguettes sont construites sur la courbe 155,30 permettant d'arroser les parcelles de 50Ha, en provoquant l'épandage de la crue ; cela revêt une double importance :

- a. L'utilisation efficiente de la pluie en la consacrant à la stricte superficie qu'elle peut entièrement couvrir par sa lame d'eau. Cette lame d'eau en s'infiltrant favorise d'abord les parcelles en amont par son humidité, et ensuite les parcelles situées en aval par l'écoulement souterrain.
- b. Le relèvement du niveau de la nappe souterraine par la réduction du ruissellement et l'augmentation de l'infiltration.

Dans le souci de mieux valoriser les potentialités du bas - fond, nous prévoyons la réalisation d'une diguette isohypse implantée à 557m en amont de l'ouvrage. Les caractéristiques constructives retenues à cet effet sont les suivantes :

- ✓ Longueur totale $L = 1070\text{m}$;
- ✓ Largeur de la crête $= 1,40\text{m}$;
- ✓ Pente de talus $2/1$;
- ✓ Hauteur $= 0,70\text{m}$.

Elle sera exécutée avec de la terre argileuse bien compactée pour permettre une meilleure étanchéité.

2. Les micro- seuils en sac de terre

Ce sont des petits ouvrages installés en travers du marigot principal alimentant le bas fond, dont la hauteur ne dépasse pas 0,6 m sur une largeur de 3m pour maintenir l'eau en permanence dans le marigot. Ils sont au nombre de 2 ; le premier est situé sur le travers 500 et le second sur le travers 700 par référence au seuil.

Ces ouvrages sont réalisés par les villageois pourvu que le projet leur donne les sacs et les fils d'attache.

Cette expérience a été testée pendant deux ans dans la zone du projet en amont du site du projet; dans le cadre de la Coopération Sud Sud Mali-Vietnam du Projet d'Appui au Développement Durable de Yélimané PADDY ; elle a donné de bons résultats en riziculture, par l'utilisation de groupe moto pompe pour irriguer avec l'eau retenue dans le marigot.

Cette pratique a les mêmes avantages que le précédent.

Dans les deux cas le ruissellement est ralenti ce qui favorise l'épandage de la crue tout en protégeant l'ouvrage principal.

CONCLUSION GENERALE

Le projet contribuera à rétablir et à améliorer le régime hydrologique du marigot. Les indicateurs ci dessous sont révélateurs.

Paramètres	Avant l'Aménagement	Après l'aménagement
Surface inondée (ha)	5	38,25
Surface rizicole (ha)	0	33,25
Décrue (ha)	0	21,75
Arachide	0	33,25
Arboriculture	0	50

Il permettra sans nul doute aux villageois d'améliorer leurs conditions de vie par :

- Une augmentation et une amélioration de la production agricole,
- Une diversification des sources de revenu

Un autre aspect important est la satisfaction des besoins en eau de la population. Ce dernier point étant difficile à estimer quantitativement, nous pouvons estimer que le stockage d'un volume important d'eau facilitera la recharge de la nappe phréatique.

Il existe déjà un mode de gestion traditionnelle des bas – fonds et des plaines. L'aménagement devra contribuer à son renforcement et à son amélioration.

Ceci n'est possible qu'à travers la sensibilisation, l'information et la formation des bénéficiaires autour de la gestion de la vanne.

15-3 Evaluation du cout des ouvragesDevis quantitatif et estimatif des travaux

Désignation	U	Qtés	PU (F.cfa)	Montant
I/TRAVAUX				
Amenée et repli		2	FF	2 500 000
Installation du chantier	U	1	FF	800 000
Débroussaillage	m ²	7 000,00	150	1 050 000
Implantation de l'ouvrage	m ²	3 630,00	300	1 089 000
Déblai pour encrage corps de l'ouvrage, bassin de dissipation et mise en place enrochement	m ³	1 350,00	3 500	4 725 000
Béton de propreté dosé à 200kg/m ³	m ³	28	45 000	1 260 000
Béton cyclopéen dosé à 250kg/m ³ pour corps du barrage y compris encrage, mur, d'étanchéité, bassin de dissipation, seuil terminal et murs bajoyers	m ³	1120	55 000	61 600 000
F/P Barbacanes en tuyau PVC Φ 50mm	ml	24	7 550	181 200
F/p filtre en tout venant	m ³	50	7 000	350 000
F/P enrochement libre	m ³	600	8 000	4 800 000
F/P batardeaux	m ²	1,6	250 000	400 000
Sous total 1				78 755 200
Coefficient d'éloignement 1.1				86 630 720
Surveillance et supervision 8 %				6 930 458
Sous total 2				93 561 178
II/TRAVAUX COMPLEMENTAIRES				
Construction micro-seuils	h/j	250	2 000	500 000
Construction de diguette isohypse	h/j	2660	2 000	5 320 000
Sous total 3				5 820 000
TOTAL GENERAL				99 381 178

ETUDES ENVIRONNEMENTALES

PREAMBULE

Les dangers qui planent sur notre présent et hypothèquent notre futur sont universels. Ils ont pour noms : la dégradation des ressources naturelles, la pollution et l'ensablement des points d'eau, le réchauffement de la planète, la dégradation de la couche d'ozone, le changement climatique

Pays sahélien, le Mali depuis plusieurs décennies se trouve confronté à de nombreux problèmes environnementaux liés d'une part à la désertification entraînant la dégradation des ressources naturelles et d'autre part à la détérioration progressive du cadre de vie lié à l'action de l'homme.

Les effets cumulés de la croissance démographique et de la pauvreté ont contribué à amplifier ces problèmes à travers la forte pression exercée sur les ressources naturelles.

Les interpellations sont importantes et nombreuses face à des moyens limités et la faible capacité d'intervention de l'Etat et de la société civile dans les délais compétitifs.

Face à ces situations, il a été signé le décret n° 08 – 346 / P RM du 26 Juin 2008 relatif aux études d'impact environnemental et social pour :

- la prévention de la dégradation de l'environnement et de la détérioration du cadre de vie des populations suite à la réalisation des projets ;
- la réduction et / ou la réparation des dommages causés à l'environnement par l'application des mesures d'atténuation, de compensation ou de correction des effets néfastes issus de la réalisation des projets ;
- l'optimisation de l'équilibre entre le développement économique, social et environnemental ;
- la mise à disposition d'informations nécessaires à la prise de décision.

GENERALITES

I – CONTEXTE ET JUSTIFICATION

La lutte contre la pauvreté, l'émigration et l'insécurité alimentaire constituent des défis majeurs auxquels est confronté la Mali. Environ 33 % des ménages vivent dans des conditions de précarité et 30 % de la population ne bénéficient pas de la ration alimentaire minimale recommandée. Une part non négligeable de la population rurale (principalement des jeunes) émigre vers des villes et tente au risque de leur vie les aventures vers l'Europe dans l'espoir des jours meilleurs.

Les investissements consentis pour le développement n'ont pu jusqu'ici réduire la pauvreté, combler le déficit céréalier, ni limiter l'émigration. Cependant, la réalisation d'un projet d'aménagement a des impacts nuisibles à l'homme et à son milieu naturel si des mesures de sécurité et de protection ne sont pas prises.

La présente étude tente justement d'apporter une solution aux problèmes environnementaux que la construction des ouvrages et l'exploitation des carrières et des parcelles peuvent causer comme dommage dans la zone du projet.

L'évaluation de l'impact environnemental est menée suivant des termes de référence du commanditaire en application des dispositions du décret n° 03 – 594 / P RM du 31 Décembre 2003 relatif à l'étude d'impact sur l'environnement au Mali.

II – OBJECTIF ET APPROCHE DE L'ETUDE ENVIRONNEMENTALE

L'objectif principal d'une étude environnementale est d'identifier et d'évaluer les effets que la réalisation d'un projet est susceptible d'avoir, d'atténuer ou compenser les impacts négatifs du projet sur l'environnement en vue d'assurer la compatibilité des activités réalisées avec l'environnement. Un des aspects importants de l'étude environnementale constitue la proposition d'un plan d'atténuation des impacts négatifs et à l'estimation des coûts de réalisation dudit plan :

- cadre législatif et réglementaire ;
- législation des normes nationales ;
- protection de l'environnement et gestion des déchets ;
- contrôle de la qualité des eaux
- autres textes législatifs et réglementaires.

II – DONNEES DE BASES

3.1 – Description du projet :

Le projet GCP / MLI / 028 / VEN a été élaboré pour contribuer à la sécurisation des productions et à l'accroissement des revenus des populations des cinq (5) communes parmi les plus vulnérables des cercles de Yélimané , Diéma et Nioro du Sahel qui sont :

- Guidimé (Yélimané)
- Krémis (Yélimané)
- Gavinané (Nioro du Sahel)
- Guétéma (Nioro du Sahel)
- Gomintradougou (Diéma)

La conception du projet est relative à :

- l'animation, sensibilisation et le renforcement des capacités des producteurs et les agents d'encadrement ;
- l'aménagement hydro agricole ;
- l'intensification de la production agricole ;
- diversification et promotion de l'élevage à cycle court ;
- Appui à la gestion et à la coordination du projet.

Pour le cercle de Yélimané, les aménagements de plaine et de bas fonds sont :

- Aménagement du bas fond d'environ 100ha sur le site de Sangadou (commune rurale de Krémis)
- Aménagement de la plaine d'environ 350ha sur le site de Bamakana Ouontogolo (commune rurale de Guidimé)

3.2 – Description du milieu

Le site du bas fond, objet de la présente étude est situé dans la commune de Krémis caractérisée par un système hydrographique qui présente des caractères des zones sémi arides où les rivières sont à sec pendant la saison sèche. Les différents cours d'eau (Lakaguilé , Wassarou , Sangadou) se caractérisent par des oueds au lit ensablé et qui coulent que pendant la saison des pluies . Ils servent actuellement et pendant une période très courte à l'abreuvement du cheptel.

D'une superficie d'environ 100 ha, le bas fond de Sangadou est situé à environ 55 km de Yélimané à l'Ouest du village de Kakoulou. Il était exploité en riziculture et en culture de décrue par les villages de Kakoulou , Krémis et Sinéwaly ; mais de nos jours où les conditions pluviométriques deviennent défavorables ; l'exploitation du bas fond est difficile sans maîtrise d'eau car l'eau stagne mais demeure insuffisant pour boucler le cycle. En amont du site il y a quelques champs de décrue (maïs) ; à la périphérie du bas fond se trouve la majeure partie des champs (sorgho, mil arachide).

IV. – ETUDES ENVIRONNEMENTALES

4.1 – Méthodologie

La méthodologie utilisée a consisté à :

- une compilation des données de la documentation existante ;
- une mission de reconnaissances du site (prospection de la zone d'étude)
- des enquêtes auprès de la population sur la question environnementale.

4.2 – Etudes de la flore

La flore et la faune (y compris les oiseaux, les petits mammifères, les reptiles) ont fait l'objet d'études afin de maîtriser les impacts environnementaux et renforcer la gestion de l'environnement.

Les savanes arbustives dominantes et généralement situées sur les superficies dégradées, gravillonnaires ou cuirassées à tapis herbacé peu diversifié. Les ligneux sont essentiellement arbustifs à faible production.

4.2.1 Climat et pluviométrie

Le site est situé dans la zone bioclimatique sahélienne. Les températures varient en moyenne entre 15 °C à 46 °C. Les plus basses températures ont lieu entre janvier et février, tandis que le mois de Mai est la période la plus chaude avec des points de l'ordre de 46 °C

Au niveau pluviométrique, les hauteurs d'eau enregistrées ces dernières années varient entre 374 mm (1998) et 750 mm (2007). La période hivernale a lieu entre Mai et Octobre. La pointe des dix dernières années survient en Août avec 167 mm.

L'évaporation est importante. Les valeurs les plus fortes sont enregistrées en Avril et Mai avec des pointes de 10 à 12 mm par jour. L'humidité relative fluctue autour de 20 % entre Février et Mars et atteint une pointe de 80 % entre Août et Septembre.

4.2.2 – géologie et hydrogéologie

Le site présente un cadre physique avec un sol à texture variable constitué de sable, de limon, d'argile en surface. Les proportions de ces différents constituants déterminent la couleur des sols qui varient selon des zones. Ces différentes zones concernent les plaines, les bassins versants, les dépressions, les terrains plats etc ...

On peut noter que la géomorphologie se caractérise par des terrains relativement plats. L'exploitation des eaux souterraines se font à partir des puits traditionnels busés et des forages. Ces ouvrages ont une profondeur moyenne de 20 m pour les puits et de 60 m pour les forages. Le niveau statique des forages varie entre 9.8 m et 19 m.

Les sols sont constitués en surface de sable, d'argile et de limon avec une profondeur de 2 à 13 m ; quant au sous sol, il est constitué dans la majorité des cas par les roches dominantes comme les schistes, les dolérites, les grés etc...

4.3 – Etudes de la faune

Les études sur la faune ont été faites à partir d'observations directes sur le terrain, les enquêtes auprès des populations autochtones.

L'aire d'étude étant entièrement semi aride, la faune sauvage est presque inexistante. Par observation, on note la présence d'écureuil, de livres, de blaireaux et chacals. L'avifaune est présente autour des touffes de végétation dans les bas fonds parmi lesquelles on cite les oiseaux tels que les tisserins, les youyous, les ignicoles, les tourterelles.

4.4 - Les impacts du projet sur l'environnement

Cette partie des études traite l'ensemble des impacts directs ou indirects, temporaires ou permanents du projet sur l'environnement physiques, le climat, la diversité biologique, les hommes, les activités socio-économiques et etc. Cependant, seuls les impacts significatifs, susceptibles d'avoir une incidence sensible sur l'environnement aussi bien au moment des travaux de réalisation du projet que de son exploitation sont répertoriés, quantifiés et hiérarchisés.

4.4.1 - Sources d'impacts

La nature du projet se prête à une analyse des impacts des activités par phase du projet prévue sur les composantes environnementales (milieux biophysiques et humains) ainsi qu'à la proposition des mesures d'accompagnement

Les sources d'impact dans la présente étude se définissent comme l'ensemble des activités prévues lors des périodes des travaux d'aménagement et d'utilisation des. Comme activité on a :

La phase d'aménagement (pré construction et construction) :

- Installation du chantier

- Le déboisement et défrichage des sites d'aménagements et des zones d'emprunt ;
- L'aménagement (terrassment, construction d'ouvrages) en prenant en compte les cas spécifiques des zones d'emprunt et des pistes d'accès à ces zones ;

La phase d'exploitation :

- L'utilisation des pistes par divers usagers ;
- L'entretien des pistes ;
- L'intensification agricole ;

4.4.2 - Interrelation entre les sources d'impacts et les composantes environnementales

4.4.2.1 - Impacts sur le milieu physique :

Toutes les phases du projet ont un impact négatif sur la plupart des éléments environnementaux particulièrement :

▪ Impact sur la qualité de l'air :

La qualité de l'air sera affectée par la circulation des engins de chantier et des camions de transport de matériaux terreux susceptibles de provoquer des envols de poussières et de fumées. Ces envols pourront être particulièrement gênants pour les secteurs d'habitation ou les zones de culture. Ces impacts d'intensités certes fortes ont une étendue locale. Cependant les activités d'entretien des ouvrages pendant la phase d'exploitation ont un impact positif sur la qualité de l'air par la diminution des envols de poussières.

▪ Impact sur les sols

Les prélèvements de matériaux sur les sites d'emprunt et/ou de carrières lors des travaux d'entretien pourront conduire à moyen terme au développement d'un important ravinement sur les pentes, entaillant les matériaux meubles, empêchant la végétation de se reconstituer sur un substrat devenu stérile. Dans certaines circonstances, des obstacles (fosses, dépôts de déblais, etc.) entraînent un dépôt de sable en suspension et l'amorce d'un ensablement qui peut s'augmenter au fil du temps. Suivant les pentes, le caractère meuble des matériaux, l'épaisseur de la couche de sable déposé, la vitesse de reprise de la végétation ne peut rapidement reconquérir le carreau d'une carrière ou les talus à forte pente sans y être aidée. Toutes choses qui contribuent également à transformer le paysage naturel de façon permanente.

▪ Impact sur la faune

L'incidence des travaux de déboisement et de débroussaillage sur la faune va se matérialiser de multiples façons suivant la typologie suivante :

- ◆ **Dérangement temporaire** : les dérangements temporaires seront ressentis par toutes les espèces. Ils sont hostiles à une présence humaine inhabituelle, à un trafic plus important, au bruit ;
- ◆ **Faune délogée temporairement** : la faune délogée est la faune dont l'habitat est situé à proximité immédiate du chantier. Sans être détruit, cet habitat sera abandonné durant la phase de construction du fait de la gêne ressentie. Cela pourrait concerner les petits mammifères et d'autres espèces.
- ◆ **Faune à habitat détruit** : la faune à habitat détruit est la faune dont l'habitat est situé à l'intérieur de la zone à déboiser. Cela pourrait concerner les oiseaux, les insectes, les reptiles et les rongeurs etc. ;
- ◆ **Cas particulier de la base vie** : le braconnage pratiqué par et pour les ouvriers du chantier peut exercer une pression cynégétique supplémentaire sur une faune déjà raréfiée.

Ces impacts négatifs sont très importants et difficilement à atténuer.

4.4.2.2 – Impacts sur le milieu humain :

▪ La sécurité et les problèmes de santé

Au cours des travaux de déboisement et de débroussaillage, des accidents de travail liés à une mauvaise manipulation de l'outil de travail (haches, tronçonneuse, etc.) et/ou à une inattention des ouvriers pourraient survenir. L'inhalation des fumées et des poussières dégagées par la combustion de certaines espèces végétales et/ou animales pourrait conduire à la dégradation de la santé de certains ouvriers ; Ces impacts négatifs sont importants et durciront le temps des travaux de déboisement et de débroussaillage. Ils pourront être atténués en observant certaines mesures de sécurité et en brûlant minimum de matériels végétaux.

▪ Le bruit et les vibrations

Les travaux seront générateurs de bruits et de vibrations. Ces nuisances seront perçues, en particulier lors des traversés de villages, par les riverains. Les bruits et les vibrations seront causés par le déplacement des véhicules sur les chantiers (bulldozer, camion, etc.) et aux bords des itinéraires empruntés par les camions de transport de matériaux. Les travaux en eux-mêmes causeront aussi beaucoup de bruits et de vibrations en particulier lors des opérations de terrassement (bulldozer, pelle mécanique, dameuse, etc.).

▪ Activités économiques emplois et qualité de vie :

Les petits commerces pourront se développer à proximité des chantiers, pour satisfaire aux besoins des ouvriers. Les chantiers devraient offrir plusieurs emplois aussi bien aux ouvriers qualifiés qu'à la population locale. Par conséquent, les travaux d'aménagement pourront atténuer momentanément le chômage rural. Cet impact positif est très important dans la lutte contre l'exode rural.

Toutes les phases du processus ont un impact. L'aménagement du bas fond stimulera les activités économiques non seulement de la commune de Krémis de façon permanente mais aussi des communes voisines.

4.5 - Evaluation des impacts

4.5.1 - Impacts positifs

Les impacts positifs identifiés sont surtout économiques :

- A court terme : la création d'emploi en amont et au cours des travaux
- A moyen et long terme : l'émulation d'activités génératrices de revenus, le changement d'écosystème (faune et flore)

4.5.2.- Impacts négatifs

Les impacts négatifs sont assez nombreux : la pollution de l'air au moment des travaux, le risque de maladies liées à l'eau et à l'air, le risque d'accident de travail, le risque de contamination des sols, des eaux de surface et souterraines, les nuisances sonores, la destruction des habitats (faune et flore).

4.6. - Mesures d'atténuation et de compensation (correction)

Les mesures d'atténuation proposées portent sur :

- les recommandations sur les formes de mesures à observer au cours des phases des travaux et d'exploitation ;
- la mise en place des dispositifs de surveillance continue ;
- l'estimation des coûts financiers des mesures d'atténuation ;

La majeure partie des impacts négatifs se situe au niveau de l'environnement biophysique et sont :

- ❖ D'intensité moyenne à forte ;
- ❖ D'étendues locales ;

Ces impacts pourront être atténués par la mise en œuvre de certaines mesures que l'on peut résumer dans le tableau ci-dessous.

Tableau I : Impacts et mesures d'atténuation correspondantes

IMPACT POTENTIEL		MESURES D'ATTENUATION
QUALITE DE L'AIR	<ul style="list-style-type: none"> - Envois de poussières et fumées générées par les travaux sur les chantiers et les zones d'emprunt ; - Bruits des chantiers ; - Pollution de l'air 	<ul style="list-style-type: none"> - arroser les sites et régler correctement les moteurs des engins ; - limiter strictement les vitesses des engins ; - n'entreprendre les travaux que pensant la journée
EAU DE SURFACE	<ul style="list-style-type: none"> - prélèvement de l'eau des rivières pour les travaux ; - risque de pollution des eaux par les huiles d'engin et des chantiers 	Respecter les normes techniques et les distances réglementaires pour l'exhaure de l'eau
SOLS ET STABILITE DES TERRAINS	Excavation des zones d'emprunt et enlaidissement du paysage	<ul style="list-style-type: none"> - Remettre les zones d'emprunt et de dépôts en état ; - Assurer une bonne collecte et élimination des déchets solides
VEGETATION	Champs de cultures touchés par l'emprise des travaux	Les propriétaires dont le chef du village sont consentants
FAUNES	Risque de braconnage pour la base de vie	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en défens de la zone pendant le déroulement des travaux ; - Bonne motivation financière des ouvriers

Le respect des mesures ci-dessus permettra de ne pas avoir recours à des mesures de compensation.

4.6.1 – Surveillance et de suivi environnementaux

4.6.1.1 – Surveillance environnementale

La surveillance environnementale vise à ce que pendant la réalisation du projet, le respect strict des considérations environnementale soit observé mais aussi et surtout que les mesures d'atténuation proposées par l'analyse environnementale soient considérées d'une façon adéquate et qu'une prise en compte des nouveaux impacts non prévus soit assurée.

A la réalisation, la surveillance sera assurée par un agent d'une formation appropriée en la matière et dûment mandaté par le Département chargé de la protection de l'environnement et qui aura pour missions :

- vérifier et exiger l'application stricte des mesures d'atténuation proposées
- veiller à ce que les nouveaux impacts non prévus soient accompagnés de mesures d'atténuation
- modifier au besoin les horaires et méthode de travail afin que les objectifs soient atteints.

4.6.1.2 – Suivi environnemental

La surveillance et la protection de l'environnement étant un travail de tous les jours, le suivi environnemental se poursuivra au delà des phases de réalisation et d'exploitation.

4.6.2 – Plan de gestion et d'atténuation :

La valeur foncière et la valeur productive (biomasse, production forestière ...) sont des aspects difficiles à quantifier sur le plan normatif. La valeur en biologie a une base plutôt scientifique. Les mesures d'atténuation sont :

- la réalisation de reboisement compensatoire à base d'espèces locales
- la modification des sols dans les zones adjacentes doit être corrigée par des actions de lutte anti-érosive pour freiner l'érosion des sols
- L'information et la sensibilisation de la population
- La revalorisation dans la mesure du possible des produits de dessouchage.

4.6.3 – Evaluation des mesures de suivi et d'atténuation

DESIGNATION	P.Unitaire F CFA	MONTANT F CFA
Surveillance phase réalisation	Forfait	500 000
Suivi	Forfait / an	480 000
Reboisement compensatoire	Forfait	12 000 000
Formation en technique de lutte antiérosive	Forfait	2 500 000
Information, sensibilisation de la population	Forfait	1 500 000
Revalorisation des produits de dessouchage	Forfait	1 500 000

Annexes 1

- Ouvrage de dissipation

La longueur de protection à l'aval du déversoir est essentiellement fonction de l'importance de la hauteur totale de chute et du débit spécifique à transiter.

La valeur optimale est obtenue en appliquant des méthodes de calculs basées sur la détermination du nombre de Froude et des caractéristiques du ressaut. Mais pour les ouvrages de petite dimension, on adopte généralement une longueur égale à 2 ou 3 fois la hauteur totale de la chute. Dans cette étude, nous renforcerons le dispositif de protection initiale par des enrochements de 2m de large.

En application de la formule envisageable pour les ouvrages de lutte anti érosive, les formules suivantes permettent de fixer la longueur du bassin de dissipation

$$y = 1,90H^{0,225} \times q^{0,54}$$

Avec y la profondeur limite de la fosse sous le niveau aval

q est le débit spécifique = Qp/S

D'autres formules faisant appel aux dimensions des grains peuvent être utilisées

$$y = 4,75 \frac{H^{0,2} \times q^{0,54}}{d_{90}^{0,32}}$$

$$X = 1,15 \sqrt{\frac{(H - y^2)}{h}} + 0,67$$

H la hauteur de chute

X est la longueur du ressaut hydraulique

On trouve X= 3,81m que l'on arrondi à 4m

Calcul de stabilité

Stabilité au renversement et au glissement

La poussée de l'eau sur le parement amont, ainsi que les forces de sous pression, agissent pour renverser l'ouvrage autour de l'axe représenté par le pied de son talus aval.

L'ouvrage est stabilisé par la poussée par son propre poids et déstabilisé par la poussée de l'eau stockée derrière l'ouvrage ou déversant dessus, et par les forces de sous pression de l'eau dans la fondation.

Un dimensionnement précis de l'ouvrage doit faire appel à la méthode dite des « moments » : la forme et le poids de l'ouvrage étant calculés de manière à ce que le moment des forces déstabilisatrices soit contrecarré par celui des forces stabilisatrices. Ce calcul est relativement complexe, aussi utilise-t-on deux méthodes pour approcher le même résultat.

➤ Méthode statique : elle donne des résultats qui ne sont donc pas rigoureux mais conviennent.

Le déroulement est le suivant

- Poussée de l'eau : s'applique au 1/3 inférieur de l'ouvrage et s'exprime par la formule :

$$Q = \frac{\delta(H + 2h) \times H}{2}$$

Avec δ poids volumique de l'eau = 1000 kg/m^3 H, la hauteur de l'eau à la cote du déversoir, h l'épaisseur de la lame d'eau sur la crête du déversoir.

- Forces de sous pressions

$$S_p = \frac{\delta L(H + 2h)}{2}$$

- L : largeur de base du barrage

Profil type

> Stabilité au glissement

$$\frac{(P - S_p) \text{ coeff de frottement}}{Q} = 1$$

Q

P : poids de l'ouvrage

La résistance au cisaillement est offerte par la fondation, grâce à sa cohésion et à son coefficient de frottement avec la maçonnerie.

On suppose que la poussée de terre et l'encrage du bassin sont nuls

Données :

Densité de la maçonnerie = $2,3 \text{ t/m}^3$

Densité de l'eau = $1,1 \text{ t/m}^3$

La hauteur maximale de l'ouvrage $H = 1,90 \text{ m}$ $\alpha = 35^\circ$

Poids du barrage	Poussée de l'eau E				Sous pression (U)			
	δA t/m ²	δB t/m ²	E1 t/m	E2 t/m	UB t/m ²	Uc t/m	U t/m	
P (P1+P2+P3)	10,75	0,11	2,75	0,26	5,17	3,96	0	6,38

Moments des forces appliquées

Efforts	Forces (t/m)		Bras de levier	Moments (t.m)	
	F _v	F _H		Stab	Destab
Poussée de l'eau	E1				
	E2		0,26	1,6	2,80
Ouvrage	P1	2,19		3,89	2,52
	P2	5,24		3,93	8,50
	P3	3,34		3,35	20,60
Sous pression	U	6,20		2,98	11,20
	Totale	9,50	5,43		18,50
				40,30	23,82

Au vu de ces résultats, le barrage se montre stable vis-à-vis des risques liés au renversement et au glissement

Lutte contre le renardage

Le renard une infiltration d'eau à travers l'ouvrage.

La vérification de la formule suivante permet de lutter contre le phénomène.

$$Lv + 1/3Lh \geq CH$$

Avec

H : hauteur maximale d'eau en amont = 1,9max

C : coefficient du terrain = 2

$$LH = 7,4$$

$$Lv = 3,8$$

On trouve $6,27 \geq 3,8$

La règle de LANE est donc vérifiée

Annexes 2

- Bassin versant du site
- Plan topographique
- Profil en long de l'axe de l'ouvrage
- Plan d'exécution de l'ouvrage (plan d'aménagement, vue en plan et coupes)

BASSIN VERSANT DU SITE DE SANGADOU

SURFACE : 94 Km²

PERIMETRE : 52 Km

10° 30'

10° 20'

10° 10' R
10° 15'

Alainq

Mara

Sanbou

Kakouhou

Larangoéngou

Kirane

Elagné

Sénéwali

Kremiss

10° 30'

10° 20'

Korango

10° 10' R
10° 15'

Ech: 1/200 000