



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

**THEME : ETUDES D'AMENAGEMENT DU BAS-FOND DE
VARA DANS LA PROVINCE DE LA SISSILI**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES D'INGENIEUR DE
L'EQUIPEMENT RURAL**

Présenté et soutenu publiquement par :

BAKOUAN NESTOR DIDIER

Travaux dirigés par :

M. Kouassi KOUAME, Directeur des Etudes et des Services Académiques du 2ie

M. Kakaria SOULGA, Enseignant au 2ie UTER GVEA

Mme. KARAMBIRI Salamata, Ingénieur GR au PABSO

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : M. HAMMA YACOUBA

Membres et correcteurs

M. KOUASSI KOUAME

M. ZAKARIA. SOULGA

Promotion 2007/2008

DEDICACE

A mon Dieu le Clément et Miséricordieux qui m'a donné la foi et la force de croire à tous ce que j'entreprends dans ce monde ici-bas ;

A feu ma mère, qui m'a donné la vie, mais qui a été arrachée très tôt à notre affection ;

A mon père précurseur de ma réussite et qui a toujours été à mes côtés pendant les moments difficiles ;

A mon Oncle maternel, à mes frères et sœurs pour leur soutien ;

Je dédie ce document

REMERCIEMENT

J'exprime ici ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ma formation d'Ingénieur de l'Equipement Rural et à la rédaction de ce rapport.

Tout particulièrement je tiens à remercier :

- L'ensemble des enseignants du 2^{ie} pour la qualité de la formation reçue;
- Mes encadreurs M. Kouassi KOUAME, Directeur des Etudes et des Services Académiques du 2^{ie}, M. Zakaria SOULGA, Enseignant au 2^{ie} ; Mme KARAMBIRI Salamata, GR au PABSO pour leur disponibilité, leurs conseils prodigués et leurs soutiens ;
- L'ensemble du personnel de la Direction des Etudes et des Services Académiques du 2^{ie} ;
- Mes camarades de la 37^{ème} promotion de l'EIER ;
- L'ensemble du personnel du service technique du 2^{ie} pour leur appui tout le long de ce mémoire ;
- Tous mes amis et collègues à Ouagadougou pour leur soutien moral et leurs conseils.

Pour leur accueil chaleureux et leur hospitalité, mes remerciements s'adressent également :

- A tous les habitants de Vara ;
- Au chef du village de Vara pour son hospitalité ;
- A monsieur CONGO, Chef ZATA de TÔ, pour sa disponibilité.

AVANT PROPOS

L'institut international de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2ie) ex-groupe EIER-ETSHER est une école implantée au Burkina depuis 1974 pour le site de Kamboinsé (ETSHER) et 1968 pour le site de Ouagadougou (EIER). Le 2ie a pour mission la formation et le perfectionnement de techniciens aptes à promouvoir et à mettre en œuvre des actions de développement dans le domaine de l'eau, du génie civil et de l'énergie.

Pour atteindre cet objectif les élèves ingénieurs ont durant leur cursus de formation des projets dans les diverses disciplines enseignées dont le projet intégrateur au deuxième semestre de la troisième année de formation. La fin des études est sanctionnée par un mémoire de fin d'études qui donne droit au diplôme d'ingénieur.

Le présent mémoire qui a pour thème : « **étude d'aménagement du bas-fond de vara dans la province de la Sissili** » ; rentre dans cette logique. Ce thème a été proposé par l'Unité Thématique d'Enseignement et de Recherche GVEA (Gestion et Valorisation de l'Eau et l'Assainissement) et le site de Vara fait partie de neuf (9) sites présélectionnés par le PABSO pour être aménagés en 2008.

En effet, la formation à l'EIER étant dominée par les sciences de l'eau et de l'environnement, les connaissances en aménagement hydro-agricole sont donc importantes pour le futur Ingénieur de l'Equipement Rural. Cette étude est alors une opportunité pour l'élève ingénieur de montrer sa capacité à valoriser les connaissances acquises pendant les trois années de formation.

LISTE DES SIGGLES ET ABBREVIATIONS

CAIV	: Cellule d'Appui aux Initiatives Villageoises
CFPI	: Cellule de Formation Professionnelle d'Ingénierie
CIEH	: Comité Inter-états d'Etude Hydraulique
CSPS	: Centre de Santé et de Promotion Sociale
DCN/R	: Diguettes suivant les Courbes de Niveau Revêtues
DD/BC	: Digue Deversante en Béton Cyclopéen
DIARPA	: Diagnostic Rapide de Pré-Aménagement
DPAHRH	: Direction Provinciale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
EIER	: Ecole Inter-états des Ingénieurs de l'Equipement Rural
GPC	: Groupement des Producteurs de Coton
IST	: Infections Sexuellement Transmissibles
KfW	: Förderbank de la République Fédérale d'Allemande
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (France)
PABSO	: Programme d'Aménagement de Bas-fonds dans le Sud-Ouest et la Sissili
PAFR	: Plan d'Action pour la Filière Riz
PGT	: Plan de Gestion de Terroir
PIB	: Produit Intérieur Brut
PNGT II	: Programme National de Gestion des Terroirs Phase II
PVC	: Poly Chlorure de Vinyle
ZATA	: Zone d'Animation Technique Agricole

LISTE DES TABLEAUX

Tableau1 : pluviométrie moyenne annuelle de vara sur 10 ans (ZATA de TÔ)

Tableau 2 : liste des associations présentes dans le village

Tableau 3: récapitulatif des résultats des analyses des sondages géotechniques

Tableau 4: valeur de K_{r10}

Tableau 5: Tableau récapitulatif des caractéristiques du bassin versant

Tableau 6: pluie décennale

Tableau7 : pluie journalière maximale

Tableau8 : Valeurs des paramètres par la méthode CIEH

Tableau 9: volume des apports annuels

Tableau10 : Etude économique comparative des deux types d'aménagements

Tableau11 : hauteur de la lame d'eau deversante sur les diguettes

Tableau12 : Devis estimatif du coût de l'aménagement

LISTE DES SCHEMAS

- Profil en travers d'une diguette non revêtue
- Profil en travers d'une diguette revêtue de moellon
- Perspective d'un pertuis
- Coupe A-A d'un pertuis
- Fond topographique du bas-fond
- Plan d'aménagement
- Limite du bassin versant
- Profil en long du bas-fond
- Profil en travers 1
- Courbe hypsométrique du bassin versant

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION GENERALE	1
II. PROBLEMATIQUE DE L'AMENAGEMENT	2
III. PRESENTATION DU PABSO.....	3
IV. OBJECTIF DE L'ETUDE	4
V. METHODOLOGIE.....	4
VI. GENERALITES SUR LE VILLAGE DE VARA.....	5
VI.1 Localisation et accès au village.....	5
VI.2 Climat et Pluviométrie	6
VI.3 Relief.....	7
VI.4 Sol et Végétation	7
VI.5 Faune	7
VII. ETUDES DE BASE.....	8
VII.1 Etudes Socio-économiques	8
VII.1.1 Méthodologie.....	8
VII.1.2 Présentation de la zone d'étude	8
VII.1.3 Connaissance du milieu sociopolitique	9
VII.1.4 Le niveau de l'état d'auto-organisation des populations	10
VII.1.5 Les activités socio-économiques	12
VII.1.6 La gestion du foncier	14
VII.1.7 Appréciation de la motivation de la population	14
VII.2 Etudes Techniques	15
VII.2.1 Etudes topographiques.....	15
VII.2.2 Etudes Géotechniques	16
VII.2.3 Etudes Pédologiques.....	16
VII.2.3 Etudes Hydrologiques	17
VIII. ETUDES D'AMENAGEMENT	23
VIII.1. Typologie des ouvrages d'épandage de crue.....	23
VIII.1.1. Les digues filtrantes	23
VIII.1.2 Digue en terre en courbes de niveau.....	24
VIII.1.3. Digue entièrement déversantes ou seuils rizicoles	24
VIII.2. Proposition de variantes d'aménagement et choix.....	25
VIII.2.1. Comparaison des deux types d'aménagement	26
VIII.2.2. Description du type d'aménagement retenu.....	27
VIII.3. Caractéristiques techniques des ouvrages de l'aménagement	28

VIII.3.1. Le remblai compacté	28
VIII.3.2. La lame d'eau de versante sur les diguettes	28
VIII.3.2. Le pertuis de vidange	29
VIII.3. Planage et labour	30
VIII.4. Gestion et entretien des ouvrages	30
VIII.4.1. Les diguettes.....	30
VIII.4.2. Les pertuis de vidanges	31
VIII.5. Ouvrages de protection du bassin versant.....	32
IX. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	33
IX.1 Présentation de la situation actuelle et identification des impacts prévisibles de l'aménagement	33
IX.2 Impacts sur le milieu naturel.....	33
IX.2.1 Phase d'exécution des travaux	33
IX.2.2 Phase d'exploitation.....	34
IX.3 Impact sur le milieu socio-économique	35
IX.3.1 Phase d'exécution des travaux	35
IX.3.2 Phase d'exploitation.....	36
IX.4 Mesures de limitation et de renforcement des impacts.....	37
IX.4.1 Mesures de limitation des impacts négatifs	37
IX.4.2 Mesures de renforcement des impacts positifs	38
X. DEVIS ESTIMATIF DU COUT DE L'AMENAGEMENT.....	39
XI. RENTABILITE DE L'AMENAGEMENT	40
XII. CONCLUSION GENERALE	41
BIBLIOGRAPHIE	42
ANNEXES.....	43
Annexe1 : Pièces dessinées	44
Annexe 2 : note de calcul.....	49
Annexe 3 : Coût des mesures de protection des versants et des mesures d'atténuation des impacts de l'aménagement	52
Annexe4 : recommandations de l'étude sociologique.....	53
Annexe5 : Topographie	54
Annexe 6 : étude hydrologique	59

RESUME

Le village de Vara est situé au centre ouest du Burkina dans la sous-préfecture de Tô. Vara est confronté aux aléas climatiques et à la dégradation des terres engendrant de faibles rendements des cultures.

Afin de minimiser les risques de mauvaises récoltes, les agriculteurs diversifient leurs cultures et recherchent surtout de nouvelles terres pour l'intensification de leur exploitation.

Les bas-fonds qui offrent des potentialités hydriques et agronomiques grâce aux apports d'eau de ruissellement et de matière organique provenant des versants, sont de plus en plus exploités pour la culture du riz pluvial. La mise en valeur du bas-fond de Vara est donc une réponse aux problèmes de sécurité alimentaire de cette localité. Cependant, le système d'exploitation traditionnel actuel se heurte à la mauvaise maîtrise de l'eau dans les parcelles rizicoles, ce qui limite le rendement de riz à l'hectare.

Afin de lever les contraintes d'exploitation traditionnelle actuelles et d'améliorer le rendement de cette culture, le projet PABSO qui appuie les initiatives locales, après l'appréciation de la demande des paysans, a sollicité une étude socio-économique et technique de ce bas-fond.

Dans le souci de proposer un projet répondant à la fois aux normes techniques d'aménagement de bas-fond et aux aspirations de la population locale, l'étude a porté préalablement sur le recueil d'informations par voie bibliographique suivit d'enquêtes au niveau du village. L'analyse des résultats d'enquête et l'étude hydrologique du bassin versant ont conduit au choix du type d'aménagement par diguettes suivant les courbes de niveau protégé par des moellons.

Mots clés

Bas-fond

Bassin versant

Moellon

Diguettes

Courbe de niveau

SUMMURY

Vara is a village, situated in the west center of Burkina, in the under - prefecture of Tô, is confronted to the climatic risks and the deterioration of the earths generating weak outputs of the cultures. In order to minimize the risks of bad harvests, the agriculturists vary their cultures and search for new earths especially for the intensification of their exploitation.

The shallows that offer water and agronomic potentialities thanks to the inflows of water of runoff and organic matter coming from the sides are increasingly exploited for the culture of the pluvial rice. The enhancement of the shallow of Vara is therefore an answer to the problems of food security of this locality. However, the present traditional operating system collides to the bad mastery of water in the parcels of rice, what limits the output of rice on these parcels.

In order to raise the present constraints of traditional exploitation and to improve the output of this culture, the PABSO project that pushes the local initiatives, after the appreciation of the demand of the peasants, solicited a socioeconomic and technical survey of this shallow.

In the worry to propose a project answering at a time the technical standards of shallow planning and the aspirations of the local population, the survey was about the compilation of information previously by bibliographic way and investigations to the level of the village.

The analysis of the investigation results and the hydrologic survey of the watershed drove the type of planning by choice by small dyke follow the curve level protected by quarry stones.

Keys words

Shallow

Planning

Dyke

Contour line

Quarry stone

I. INTRODUCTION GENERALE

Le Burkina Faso, avec une population estimée de nos jours à 13,2 millions, est un pays situé au cœur de l'Afrique occidentale et couvre une superficie de 274 200 km². Caractérisé dans son ensemble par un relief plat à l'exception de la partie Ouest et Nord-Ouest où l'on rencontre quelques alignements de collines, il repose sur un socle géologique précambrien de formation composé de roches granitiques et volcano-sédimentaires que surmontent dans ses parties Ouest, Nord, Est et Nord-Ouest des roches appartenant au précambrien supérieur. Son climat de type soudanien est caractérisé par deux saisons : une saison pluvieuse de Mai à Septembre et une saison sèche sur tout le reste de l'année.

Le Burkina Faso, est un pays essentiellement agricole de type traditionnelle, et dominé par la culture du coton. En effet, 80% de sa population est tributaire de cette agriculture extensive caractérisée par une forte utilisation des méthodes traditionnelles de cultures (culture itinérante sur brûlis, houe traditionnelle, spéculations traditionnelles). La superficie emblavée en cultures pluviales est estimée à 3 700 000 ha, mais le pays connaît toujours un déficit céréalier récurrent. En effet, ces superficies cultivées sont constamment soumises aux aléas hydrométéorologiques, et à la dégradation poussée des sols due principalement à la surexploitation (agriculture et pâturage), à l'érosion hydrique et éolienne ; sans oublier la culture intensive du coton qui contribue fortement à des baisses de rendement des cultures de subsistance dans les zones cotonnières.

Face à ces difficultés, on assiste aujourd'hui à un mouvement migratoire des paysans vers les zones basses de leur paysage : les bas-fonds, à la recherche de sols plus fertiles, de végétation plus abondante, et de ressources en eau plus sûres. Cependant, leur système d'exploitation traditionnel se heurte à la mauvaise maîtrise des écoulements hydriques dans les bas-fonds. A cela s'ajoute la pression démographique sur les bas-fonds, source d'enjeux socio-économiques. Conscient de cette situation, les paysans sont de nos jours de plus en plus demandeur d'aménagement de leurs bas-fonds afin de mieux maîtriser les crues, sécuriser leurs cultures, et pérenniser l'exploitation de leurs parcelles puis au-delà préserver ce microclimat que leur offre le bas-fond.

Le présent mémoire de fin d'études d'ingénieur rentre dans ce cadre d'étude avec le soutien du PABSO pour l'aménagement du bas-fond de Vara. Ce document entend apporter la solution technique adéquate aux difficultés rencontrées par les paysans dans le bas-fond de Vara, et de contribué ainsi à sortir Vara de la sous-alimentation et au delà participer à l'essor de l'économie locale paysanne et de façon indissociable promouvoir le mieux être de la population de Vara.

II. PROBLEMATIQUE DE L'AMENAGEMENT

Le Burkina Faso, pays sahélien sous développé, a une économie essentiellement basée sur l'agriculture (41% du PIB) et l'élevage. Cette agriculture bien que exercée par 80% de la population n'arrive toujours pas à nourrir les 13,2 millions de Burkinabè à cause d'une part des techniques culturales encore traditionnelles et d'autre part des conséquences des aléas climatiques. Face à ces caprices du climat et à la baisse de fertilité des sols des versants, les zones de bas-fonds sont perçues comme des zones favorables pour promouvoir une agriculture plus stabilisée et intensive pour peu qu'un aménagement permette de sécuriser les conditions hydriques.

Ces bas-fonds, zones basses du paysage de formes plates ou concave sont situés dans les vallées principales, avec des superficies généralement inférieures à 100 hectares, et drainent les eaux des versants périphériques, et les stockent dans les nappes alluviales.

Ce sont donc des ressources foncières intéressantes pour l'agriculture, à condition de maîtriser les aléas hydrométéorologiques qui créent une grande variabilité inter et intra-saisonnière de la ressource en eau. La solution généralement retenue depuis les années 1980 pour maîtriser cette variabilité repose sur un aménagement hydraulique du bas-fond à l'échelle du terroir villageois et si possible avec la participation de la population pour le financement et la gestion technique de l'ouvrage (P. L. Delville, J. Boujou, E. Le Roy, Octobre 2000). Mais plusieurs questions et problèmes se posent aujourd'hui. En effet, pris isolément, les aménagements ne sont pas toujours adaptés aux caractéristiques du milieu, ni gérés de manière optimale. En outre, ces aménagements sont souvent sources de conflits sociaux (agriculteurs, éleveurs) à cause des intérêts divergents des divers intervenants dans le bas-fond. Il nous semble donc important aujourd'hui d'observer et mieux comprendre le fonctionnement hydrologique du bas-fond au sein de son bassin versant, de quantifier les risques en termes de valorisation agricole, et d'apprécier les conséquences des aménagements anthropiques. Aujourd'hui, le technicien aménagiste doit s'intégrer dans la dynamique du développement durable c'est-à-dire savoir replacer le futur aménagement dans l'histoire du bas-fond et son évolution puis simuler la présence des ouvrages dans l'avenir du paysage agro-écologique et socio-économique du dit bas-fond.

III. PRESENTATION DU PABSO

Le PABSO, Programme d'Aménagement des Bas-fonds dans le Sud-ouest et la Sissili est un projet financé par la KfW Förderbank de la République Fédérale d'Allemagne et a une durée de 6ans (2006-2012). Le siège du programme est à Bobo Dioulasso, deuxième ville du pays ; il intervient dans la Bougouriba et le Ioba pour le compte de la région du Sud-Ouest et dans la Sissili pour le Centre-Ouest. Il a pour objectif de contribuer à la réduction de la pauvreté rurale par une meilleure utilisation et mise en valeur du potentiel agricole.

Conditions d'intervention du programme

Le PABSO s'inspirant des causes de l'échec des premiers aménagements des années 1970 a élaboré des critères et des conditions que doit remplir le site à aménager et les bénéficiaires de l'aménagement avant toute intervention du programme.

Conditions à remplir par les bénéficiaires

- Requête écrite par les futurs bénéficiaires en précisant les besoins d'intervention
- Consensus écrit des futurs bénéficiaires sur le projet à exécuter
- Existence ou constitution d'une association d'intérêt autour du projet à exécuter
- Engagement à la contribution des futurs bénéficiaires aux besoins d'intervention
 - Réalisation des travaux physiques pour les infrastructures
 - Contribution financière des bénéficiaires
- Engagement pour accès des femmes aux aménagements
- Engagement des futurs bénéficiaires à la gestion et à l'entretien des infrastructures
 - Engagement physique (exploitation, entretien)
 - Engagement financier (redevance)
- Engagement des futurs bénéficiaires à la protection des bassins versants
- Engagement d'un nombre minimum des futurs bénéficiaires au projet d'aménagement

IV. OBJECTIF DE L'ETUDE

Cette étude d'avant projet sommaire, réalisée dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude a pour objectif d'apporter la solution adéquate à la maîtrise partielle de l'eau dans le bas-fond de Vara. En effet, le bas-fond de Vara est le lieu d'une riziculture traditionnelle aujourd'hui en crise du fait de la diminution des écoulements et de la baisse du niveau de la nappe, fruits des récurrents déficits pluviométriques que connaît le pays. Il convient alors de gérer au mieux les écoulements de surface : atténuer leur violence néfaste en les étalant et en les régularisant, améliorer la capacité d'absorption des sols pour favoriser l'infiltration donc le remplissage du réservoir sol et l'alimentation de la nappe phréatique logée dans le remblai alluvial. L'objectif est, sinon de maintenir une nappe d'inondation permanente, ou du moins constituer une réserve hydrique suffisante pour faire face, à tout moment, à un arrêt des pluies de 10 à 15 jours, événement fréquent au Burkina Faso et qui peut être catastrophique s'il survient à l'époque critique de la floraison-épiaison du riz.

V. METHODOLOGIE

Pour mener à bien notre étude, nous avons tout d'abord procédé par une recherche bibliographique sur internet, dans les bibliothèques (CDI, DRAHH) pour mieux comprendre les principaux problèmes que posent les aménagements de bas-fond en général et au Burkina Faso en particulier. Ensuite nous avons effectué une visite de terrain suivi de collecte de données (levées topographique et enquêtes sociologiques). Le reste du travail c'est-à-dire la conception s'est terminée à l'école.

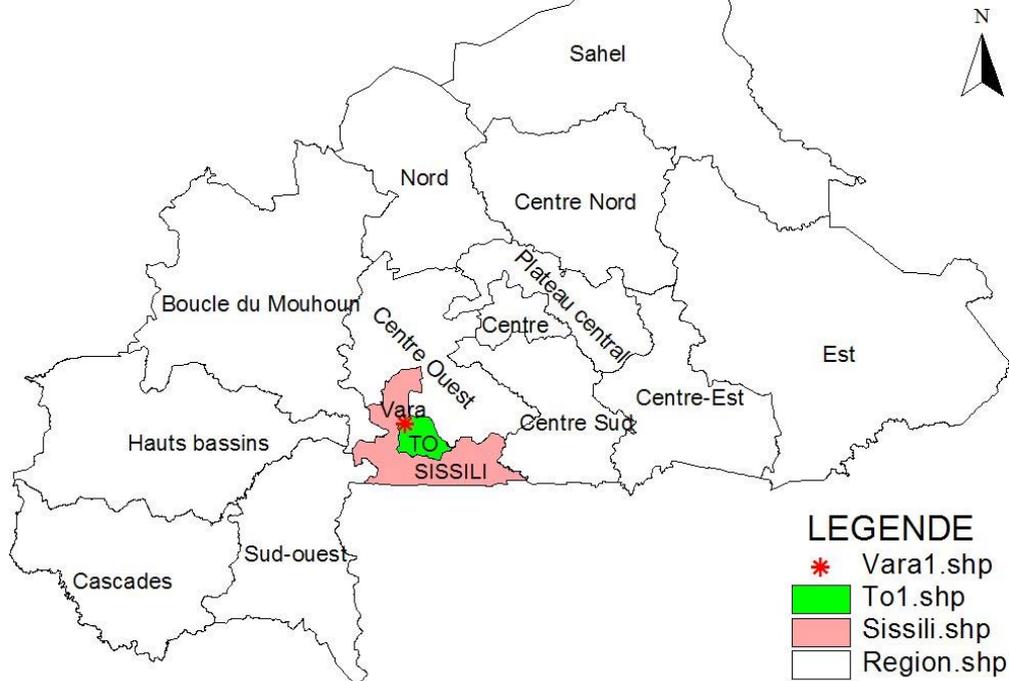
VI. GENERALITES SUR LE VILLAGE DE VARA

VI.1 Localisation et accès au village

Le village de Vara est situé à 60 km de Léo, dans la commune rurale de To ; province de la Sissili, Région du Centre-ouest. On y accède par la RN13 (Léo-Sabou) jusqu'à To (43km). A partir de To, on emprunte la piste rurale, RD125(Route Departementale) liant To à Silly sur près de 17 km. L'accessibilité par ce parcours est possible en toute saison.

Le village est limité à l'Est par Tobila, à l'Ouest par Sadouin, au Nord, Nord-est, Nord-Ouest par Pani, Fokéré, Tonin et au Sud, Sud-est, Sud-ouest par Gori, Poin, puis Nabon et Goum.

CARTE DE SITUATION DE VARA



PLAN DE SITUATION DE VARA



VI.2 Climat et Pluviométrie

Le village de vara est situé dans la zone climatique de type sud-soudanien traversée par l'isohyète 700. Son climat est caractérisé par deux (02) saisons : une saison sèche de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre. La température moyenne annuelle est de 28°C. Mars et avril sont les mois les plus chauds 37 °9 C et décembre est le mois le plus frais 17 °6 C de l'année.

Nous avons eu à notre disposition les données pluviométriques sur la dernière décennie (1997-2007) de la zone. De l'analyse de ces données nous constatons une diminution de la pluviométrie au cours de cette décennie ; les pluies dépassent rarement les 1000mm. La moyenne sur cette période est de 826mm étalée sur 56 jours. La plus faible pluviométrie de cette période a été enregistrée en 2001 avec une pluviométrie de 634,4mm étalée sur 38 jours de pluies. L'année 1999 est l'année exceptionnelle en référence au volume d'eau tombé et sa répartition dans le temps, soit respectivement 1143,6mm et 72 jours.

Tableau 1: pluviométrie moyenne annuelle de vara sur 10 ans

Années	Hauteurs des précipitations (mm)	Nombre de jours de pluies
1997	769,5	48
1998	904,9	60
1999	1143,6	72
2000	780	52
2001	632,4	38
2002	772,	48
2003	943,0	65
2004	893,5	60
2005	716	52
2006	824	68
2007	708,5	48
Moyenne	826	56

Source ZATA de Tô

VI.3 Relief

Le relief de Vara est très peu accidenté. Il est caractérisé par une plaine bordant le cours d'eau temporaire qui traverse le village et orienté d'Est en Ouest. On y rencontre aussi des collines.

VI.4 Sol et Végétation

Vara est parsemé de plusieurs types de sols. On y rencontre des sols sablo-argileux et limono-sableux sur les versants. Le long du cours d'eau, on rencontre des sols hydromorphes.

La végétation est de type soudanien et est assez fournie. Elle est constituée d'arbres, d'arbustes et de tapis herbacé. Les principales espèces ligneuses rencontrées sont : *Acacia seyal*(Épineux), *Ficus gnaphalocarpa* (le figuier), *Khaya sénégalsis* (le caïlcédrat), *Leptadenia digitata*, *Piliostigma reticulatum*, *Parkia biglobosa* (néré), *Acacia sénégalsis* (gommier), *Saba sénégalsis* (liane fruit), *Tamarindus indica* (le tamarinier), *bityrespermum parki* (le karité), *Zizyphus mauritiana* (le jujubier) etc. Quant au tapis herbacé il est constitué essentiellement d'*Andropogon shirensis*.

Notons que certains arbres de cette formation naturelle sont destinés à l'alimentation, à la confection des charpentes des habitations, à la confection des lits, à la pharmacopée et au chauffage.

VI.5 Faune

La faune dans la zone d'étude était jadis abondante. Mais suite à l'action de l'homme sur l'environnement et certaines pratiques telles que l'exploitation agricole, la chasse et les feux de brousse, elle a connu une forte diminution. Actuellement, elle est essentiellement constituée d'oiseaux (pintades sauvages, perdrix, éperviers, etc.), de reptiles (serpents, lézards, etc.), de petits rongeurs (écureuils, lièvres, rats, etc.), de singes et de petites antilopes.

VII. ETUDES DE BASE

VII.1 Etudes Socio-économiques

L'objectif de développement du PABSO dans la province de la sissili est d'améliorer de façon sensible leurs systèmes et leurs potentialités agricoles. C'est dans cette perspective que l'étude de l'aménagement du bas-fond de Vara a été entreprise et prévoyait dans ses termes de références que le socio-économiste puisse :

- Analyser les rapports existants concernant les aspects socio-économiques de la zone d'étude et de procéder à leur validation ;
- Procéder aux enquêtes complémentaires de terrain pour ressortir les contraintes socio-économiques (problèmes fonciers notamment) en vue de proposer des solutions ;
- Apprécier la prédisposition des producteurs à gérer l'aménagement.

VII.1.1 Méthodologie

Pour mener à bien cette étude, nous nous sommes inspirés des études sociologiques existantes sur le village notamment le diagnostic réalisé par l'équipe du PABSO. Puis sur le terrain nous avons pu nous entretenir avec les exploitants du bas-fond, l'association des femmes et le chef du village chez qui nous avons logé durant notre séjour.

VII.1.2 Présentation de la zone d'étude

Le village a été créé par un chasseur du nom de Badaguian d'ethnie nuni parti de woli puis de Gorou à la recherche de gibier et de terres cultivables. La découverte de cette terre propice à ses activités le sédentarisa à Vara. Vara signifie « culture(le labour) » en langue locale Nuni. Les nuna¹, populations autochtones datent leur présence sur le sol de vara depuis le 15^e siècle, ils ont ensuite été rejoints par les peuhls en provenance du Yatenga puis par les mossi en provenance de Toma (Nayala). Les principaux quartiers du village sont Karaya et Brékwa habités par les Nuna, Hamdulilah, Kouriyè habité par les Mossi, auxquels il faut ajouter des hameaux de culture Mossi et des campements peuhls.

Selon les données du CSPS de To, Vara comptait 2014 habitants en 2007. Sur la base d'un taux d'accroissement de 2,38 % (recensement 1996), avec 25% de Nuni, 55% de Mossi et 20% de Peuhl. Plusieurs religions cohabitent en parfaite harmonie à Vara. Le culte animiste est pratiqué par 50% de la population ; la confession musulmane enrôle 20%, les chrétiens catholiques représentent 20% et les protestants 10%. Le village à majorité animiste célèbre deux grands rituels selon les coutumes Nuni et qui sont aussi bien respectés par les religions révélées signe de leur bonne cohabitation. Il s'agit du Sy et du

Tipouri, ils sont respectivement réalisés avant les semis et après les récoltes pour adresser des supplications aux dieux protecteurs pour éloigner les calamités et les remercier de la grâce distribuée au village. Les masques sont également un élément intrinsèque des coutumes. Leur sortie est remarquée lors des funérailles de personnes âgées et de cérémonies liées aux différents rituels agraires.

Des interdits sont connus de toutes les communautés ethniques présentes à Vara. Il est en effet fait interdiction de :

- Faire des enterrements en brousse
- Faire des accouchements en brousse
- D'avoir des relations sexuelles en brousse
- De déféquer dans le bois sacré du village et d'y apporter du tô de mil
- D'exploiter les mares sacrées qui sont des lieux de culte pour les Nuna

Le village connaît des mouvements de population aussi bien en tant que foyer de réception que d'émigration. Cependant, le phénomène d'immigration a connu une baisse considérable voire une interruption, ces dernières années face à la réticence de plus en plus croissante des populations autochtones à céder leurs terres. Quant aux flux migratoires, ils sont de types intérieur (Ouagadougou) et extérieur avec comme destination de prédilection la Côte d'Ivoire et le Ghana. Il faut cependant noter que la frange féminine n'est pas concernée par ce phénomène de migration et ne se déplace que pour des raisons de mariage pour rejoindre leur mari.

VII.1.3 Connaissance du milieu sociopolitique

La gestion des affaires du village à Vara est assurée par trois centres de pouvoirs. Tous travaillent en parfaite collaboration mais chacun ne s'implique fortement que dans les dossiers le concernant particulièrement. On a :

- Le chef de terre ou Tiètiew en langue Nuni. Il est l'autorité la plus importante du village et est le gérant du patrimoine foncier villageois du point de vue coutumier. Il est celui à qui incombe en premier lieu l'application et l'observation des lois de la terre en vue d'assurer le bien être général. Le Tiètiew est également le "prêtre" par excellence et officie les cultes aux dieux. Il invoque les divinités pour obtenir d'elles les grâces indispensables à la vie des habitants (pluie, bonne saison, santé, harmonie, fécondité, etc.) au moment du Sy et du Tipouri. Il a une grande notoriété et est très respecté dans le village.

- Le chef de village ou Piew en Nuni est chargé de la gestion administrative du village. Il convoque les 4 chefs de quartier pour harmoniser les points de vue par rapport à tel ou tel événement. Ils déterminent ensemble les actions à mener et les conditions de leur exécution.

- Le chef de la brousse ou Gawtiew, joue un rôle coutumier dans les sorties de masques en brousse. Il règle aussi les transgressions en rapport avec la brousse.

Des centres de décision de type moderne sont apparus durant ces dernières décennies :

Les deux (2) conseillers municipaux sont votés par la population. Ils sont chargés de veiller au bon fonctionnement de la commune. Ils appuient le maire dans ses tâches de développement économique et social de la commune.

Les chefs de quartier sont les collaborateurs directs du chef de terre et du chef du village. Ils mobilisent leurs habitants autour des objectifs de développement. Ils renseignent le chef de terre sur les événements survenus dans leurs quartiers (circonstances, auteurs, victimes, etc.). Ils sont en retour les porte-paroles des habitants des quartiers auprès du chef de village.

VII.1.4 Le niveau de l'état d'auto-organisation des populations

Nous entendons par état d'auto-organisation des populations, la capacité des paysans à organiser ou à structurer des moyens humains et matériels pour réaliser des objectifs de développement qu'ils se sont fixés en fonction de leur dynamisme interne. Comprendre l'auto-organisation des paysans est très important lorsqu'on désire intervenir dans le monde rural. Sans auto-organisation il n'est pas aisé de mener des travaux de diagnostic, de programmation des activités, la réalisation ou le suivi-évaluation des actions de développement. Au demeurant, sans auto-organisation, les services techniques, les projets ou les ONG ne disposent pas d'interlocuteurs pour gérer les activités de développement. Cela révèle que le niveau de développement d'un village est assujéti au dynamisme de ses structures formelles et informelles et de leur interdépendance. Le diagnostic réalisé ressort une pléthore d'associations existant dans le village ce qui démontre le sens d'organisation élevé du village.

Tableau 2 : liste des associations présentes dans le village

Dénomination	Date de création	Effectif	Nature	Reconnaissance juridique	Objectifs et activités	Réalisations terrain
Songré Lapanga	2008	30	féminine	En cours	Culture de l'arachide	néant
GPC Vara Mossi I	1997	36 dont 1 femme	mixte	2004	Coton+maïs	Superficie emblavée=11 ha, Réalisation de fosses fumières
GPC Vara Mossi II	1997	50	masculin	2004	Coton+maïs	Emblavement coton=33 ha (par 20 personnes Production=40 T
GPC Vara Nuni II Aluryi	2005	35	masculin	2007	Coton+maïs	Emblavement : 12 ha (35 personnes) Production : 11,7 T
Nabonswendé	2004	42 dont 1 femme	mixte	néant	Production maraîchère	1 producteur a réalisé de la pastèque
Wende Lapanga	1989	60	Féminin	1996	Production d'arachide et de mils	néant
Nangrin	2004	19	Masculin	2004	Coton+mils	Emblavement : 10 ha
Relwendé	2004	25	Féminin	2007	Production d'arachide	Emblavement : 0,5 ha

Source étude diagnostique

Ce qu'on peut dire des structures ci-dessus présentés, c'est qu'elles sont peu dynamiques et très lourdes dans leur démarche de prise de décision. On peut leur reprocher :

- L'insuffisance de représentativité des structures
- L'insuffisance de qualification des responsables
- L'insuffisance de dynamisme
- L'insuffisance de concertation entre les différentes organisations

VII.1.5 Les activités socio-économiques

Les principales activités de production exercées par la population de Vara sont l'agriculture, la maraîchéculture, l'élevage. Le petit commerce (céréales, animaux et produits de cueillettes), les activités de cueillette et de transformation des produits forestiers, la poterie et les prestations de service agricole constituent les activités secondaires du village.

a) L'agriculture

L'agriculture est de loin l'activité qui occupe le plus les habitants de Vara, il est de type extensif et tributaire de la situation pluviométrique de la zone. Une prospection réalisée auprès des ménages montre que malgré la présence de nombreux migrants, la pression foncière sur le terroir de Vara n'a pas encore atteint des proportions inquiétantes comme c'est le cas dans certains villages au Burkina Faso obligeant les ménages à émigrer faute de terres cultivables. Cela est confirmé par la taille des exploitations qui varient selon leur estimation entre 3 et 32 hectares. La taille moyenne d'une exploitation serait de plus de 8 hectares.

Les principales spéculations dans l'agriculture sont le millet, le sorgho, et le maïs destinés aux besoins alimentaires. Le coton, le riz, l'arachide, le voandzou, le niébé constituent l'essentiel des cultures de rente conduites à Vara auxquelles il faut ajouter les spéculations de la maraîchéculture (choux, oignon, aubergine, tomate, ...). Le niébé et l'arachide sont des cultures principalement féminines. Il faut noter que les habitants de Vara sont de grands cotonculteurs 70% de la population (estimation faite à partir de l'échantillon enquêté) valide s'adonne à cette activité. Cependant, cette culture du coton est aujourd'hui en perte de vitesse (diminution des superficies emblavées) à cause de la baisse du prix de coton aux producteurs.

b) La maraîchéculture

À majorité pratiquée par les mossis, la maraîchéculture constitue aussi une source de revenus importante pour la population. Le village dispose d'un périmètre maraîcher d'une superficie de 1 ha, protégée par une clôture en grillage, avec quatre (04) puits maraîchers d'une profondeur d'environ 8 mètres. Il a été réalisé en 2002 en partenariat avec l'ONG CAIV sur financement d'une association caritative finlandaise dénommée TAKSVARKKIRY. Le périmètre est divisé en 48 parcelles attribuées à 48 maraîchers dont seulement une (01) femme.

Les premières années d'exploitation du périmètre ont connu un enthousiasme certain de la population. Cependant aujourd'hui on note une très faible exploitation du périmètre. Pour expliquer ce phénomène, certains évoquent le problème de manque d'eau (tarissement précoce des puits maraîchers) d'autres évoquent la monopolisation des parcelles par les autochtones qui ne sont pas très motivés pour la

maraîchéculture. Les femmes en reconnaissant le problème d'eau, abondent aussi dans le même sens en disant que beaucoup d'entre elles sont intéressées par le maraîchage en saison sèche mais ne détiennent pas de parcelles. En dehors de ce périmètre on note la présence d'une petite parcelle maraîchère sur les berges du bas-fond.

a) L'élevage

A vara, l'élevage constitue, après l'agriculture, la seconde activité économique de la population. On y pratique l'élevage des bovins, des ovins, des caprins, des asines et de la volaille (poulets, pintades et pigeons). L'élevage des bovins est très important dans le village ; les producteurs étant pratiquement tous agro-pasteurs. Il existe deux campements d'éleveurs où les peulhs détenant d'importants troupeaux de bovins se sont sédentarisés. Les animaux sont conduits dans la réserve forestière partielle qui est installée entre Vara et Tobila. En saison sèche, des puisards sont réalisés dans le bas-fond pour abreuver le bétail. Les grands troupeaux sont conduits en saison sèche sur le terroir de Tonin pour la recherche de points d'abreuvement des animaux et la recherche de pâturage.

En plus de l'élevage de poulets, de petits ruminants (ovins et chèvres), les femmes des familles non musulmanes sont spécialisées dans l'élevage de porcins. Au cours de la saison sèche 2007, onze (11) femmes de Vara ont bénéficié d'un crédit d'embouche d'un montant de 300 000 FCFA grâce au partenariat avec l'ONG CAIV. Les femmes reconnaissent que ce crédit leur a été très bénéfique et il a été totalement remboursé dans les délais prescrits. Cependant, elles regrettent que la CAIV n'ait pu reconduire cet appui jugé très porteur pour elles.

b) Autres Activités économiques

Outre les activités agro-pastorales, d'autres activités constituent une source de revenus importante pour les ménages de Vara. Il s'agit essentiellement du commerce, de l'artisanat (sculpture, mécanique, etc.), des prestations de main d'œuvre rémunérée et de l'apiculture. Au niveau des femmes, les produits de cueillette sont très importants en dehors de l'agriculture et de l'élevage. Ils représentent 15% des revenus économiques. Le petit commerce (achats et revente des produits agricoles tels le sorgho, le mil, l'arachide, le niébé, le riz, etc.) et la transformation de produits agricoles (dolo, beignets, galettes, huile d'arachide, soubala et beurre de karité) contribuent pour 25% des revenus. Quant aux prestations rémunérées et la poterie, elles tiennent pour 15% dans les entrées d'argent des ménages.

Il faut aussi noter que la préparation du dolo est une importante activité génératrice de revenus pour les femmes issues des familles non musulmanes (Nuna et une grande partie des Mossé).

VII.1.6 La gestion du foncier

Le diagnostic de la situation foncière a impliqué tous les acteurs stratégiques locaux : Chef de terre, chef de village, chefs de quartier, agro-pasteurs chefs de ménage.

a) Modalités d'accès à la terre

La totalité des terres disponibles à Vara fait l'objet d'une appropriation. Elles sont sous le contrôle des Nuni et sont inaliénables.

Les immigrants n'ont qu'un droit d'exploitation et n'ont accès aux champs qu'après accord des lignages propriétaires des tenures. Les décisions d'octroi de concession de mise en valeur relèvent de leur compétence.

Les discussions menées avec les notables et autres membres de la communauté nuna laissent transparaître clairement une restriction voire un arrêt des allochtones dans l'accès aux terres agricoles du village, à cause de l'accroissement de la population et le soucis de préserver leur terre. L'insuffisance des terres agricoles ne concerne que les immigrants. Les Nuna gardent jalousement un grand potentiel inexploité mis en réserve.

b) Contrôle, appropriation et gestion locale des terres

Le bas-fond de Vara tout comme les terres hautes est sous le contrôle et la gestion de cinq (5) notables représentant des lignages majeurs autochtones du village. Il s'agit de :

- Ziba Bakonon chef de village et notable du quartier Karaya
- Ziba Babou, chef de la brousse et notable de Brékwa
- Ziba Badjè, notable de Karaya
- Ziba Bavy, notable de Brékwa
- Ziba Bayi, notable de Karaya

Seuls ces aînés de lignage ont le contrôle des terres du bas-fond et peuvent distribuer les droits d'exploitation aux demandeurs (immigrants). Les droits d'usage ne sont pas permanents.

VII.1.7 Appréciation de la motivation de la population

L'idée d'aménager le bas-fond n'est pas récent et ne date pas des contacts avec le PABSO. Le PNGT II a été approché pour la traduire en réalité sur le terrain. Le PGT élaboré en 2005 fait ressortir le renforcement du capital productif de Vara par la construction d'une retenue d'eau. Cette action n'a pas pu voir le jour, les activités d'appui du PNGT II ayant pris fin. Les producteurs n'ont pas approché d'autres structures d'appui par méconnaissance des institutions œuvrant dans ce sens.

Il ressort de nos investigations que les populations sont très motivées pour l'aménagement de leur bas-fond vu l'accueil qui nous a été réservé et l'engouement avec lequel les paysans ont répondu à nos questions. Les paysans nous ont fait savoir qu'ils attendent de l'aménagement la réalisation des objectifs suivants :

- Faisabilité d'une double campagne (légumes et riziculture) par la maîtrise de l'eau pour l'amélioration du potentiel existant dans le bas-fond
- Diversification des productions (légumes, riz)
- Augmentation de la ressource alimentaire
- Augmentation des revenus des producteurs
- Augmentation de la ressource en eau

VII.2 Etudes Techniques

VII.2.1 Etudes topographiques

La conception de l'aménagement du bas-fond de Vara nécessite la connaissance d'un certain nombre de caractéristiques physiques du bas-fond. C'est pourquoi une étude topographique du bas-fond s'avère très indispensable, afin de statuer sur la faisabilité même du projet puis du choix et le dimensionnement des ouvrages.

Ainsi, sur le terrain nous avons procédé au levé topographique de notre bas-fond. Dans un premier temps nous avons fait l'implantation puis le levé des points de la polygonale fermée pour permettre de corriger les erreurs angulaires et planimétriques avant de procéder au levé de détail. Deux points de la polygonale ont été marqués avec des bornes bétonnées afin de permettre leur repérage en toute saison.

Nous avons ensuite procédé à un levé de détail au semis de points, en plus de ces points, les points particuliers comme les ouvrages existants (les marres, les puisards, les buttes, et les arbres) ont été levés afin de ressortir tous les détails susceptibles d'influencer la conception de l'aménagement.

Le matériel utilisé pour le levé est : une station totale (TC 400), un réflecteur et une mire.

A l'issue de ces travaux de terrain et du report au bureau, un plan de masse de la cuvette a été réalisé à l'échelle 1/1000 avec des courbes de niveau équidistantes de 0,3m. Ce plan présente tous les éléments caractéristiques du terrain y compris les puits de sondage géotechnique. La superficie levée est de 13,22 ha environ, la courbe de niveau la plus extérieure est à la côte 291,741m tandis que la courbe la plus intérieure est à la côte 287,351m. Le profil en long de l'axe du cours d'eau donne une pente longitudinale moyenne de l'ordre de 0.458% et le profil en travers une pente transversale de l'ordre de 0.16%.

Les résultats de cette étude topographique permettent de conclure que nous sommes en présence d'un bas-fond sans lit mineur marqué, ce qui permet d'envisager à priori la possibilité d'un aménagement par système d'épandage des crues (seuils déversant).

VII.2.2 Etudes Géotechniques

L'étude géotechnique du bas-fond de Vara a été réalisée à titre indicatif car les sondages ont été faits sans tenir compte du lieu exact d'implantation des ouvrages à mettre en place, une étude géotechnique est donc fortement recommandée lors de la phase de réalisation des travaux.

Cette étude a consisté sur le terrain à faire des puits de 1m de profondeur à ciel ouvert afin de prélever des échantillons pour des analyses au laboratoire. L'étude a pour but d'identifier le sol de fondation des ouvrages et la recherche de zone d'emprunt de matériaux argileux.

Tableau 3: Récapitulatif des résultats des analyses des sondages

N° Sondage	Composition granulométrique	Limites d'Atterberg
Sondage 1	Argile 98%	LW =31% IP =15%
Sondage 2	Argile 99%	LW =30% IP =11%

LW : Limite de liquidité

IP : Indice de Plasticité

source laboratoire ETSHER

De l'analyse des résultats fournis par les différents essais au laboratoire, il ressort que nos échantillons de sondage 1 et 2 sont argileux et peu plastique. Cela nous permet de dire que le sol du bas-fond peut être utilisé pour le compactage des diguettes.

VII.2.3 Etudes Pédologiques

Cette étude réalisée sur le terrain a pour objectif de déterminer la texture des sols de notre bas-fond, et dévaluer leur aptitude pour la riziculture, puis d'identifier les actions appropriées pour leur mise en valeur durable. Pour identifier la texture de notre sol en place, la méthode de la détermination tactile a été utilisée puis a été confirmée au laboratoire par l'analyse granulométrique.

Il ressort de cette étude que les sols du bas-fond sont de nature hydromorphes, de texture limono-argileuse à argileuse. Le sol à certain endroits présente une structure fragmentaire de type grumeleuse puis des croûtes de battance à d'autre endroit. On note aussi la présence de vertisols dans le bas-fond au niveau

des zones de marres. Les racines sont visibles à certain endroits en surface et éprouve des difficultés de pénétration en profondeur ou on les retrouve irrégulières et tordues.

La perméabilité mesurée à l'anneau de Muntz donne une perméabilité de $1,72 \cdot 10^{-6}$ m/s, le trou de Porchet donne une perméabilité de $4,82 \cdot 10^{-7}$ m/s.

En l'absence de données physico-chimiques, nous nous permettons de nous prononcer sur l'aptitude du sol dite potentielle sous réserve d'une confirmation par les données complémentaires. A partir des données morphologiques des sols, des informations fournies par les utilisateurs du bas-fond et l'analyse du milieu, il a été possible de dégager certaines potentialités des sols ; à savoir la bonne aération du sol, l'aisance de pénétration des outils de travail, puis la disponibilité en éléments nutritifs avec l'apport de sédiments des versants.

Nous pouvons dire que les sols du bas-fond sont aptes pour la riziculture. Une maraîchéculture (oignons, choux, aubergines, gombo...) peut aussi bien s'y pratiquer pendant la saison sèche après la récolte du riz vue la proximité de la nappe. Le niveau de la nappe estimé à partir des puisards à la date du 12 Avril 2008 était à 1,1 m. signalons cependant qu'il ya eu une pluie sur Vara la veille de notre arrivée ce qui est probablement à l'origine de cette remontée de la nappe.

VII.2.3 Etudes Hydrologiques

L'étude hydrologique a pour but, d'estimer et déterminer, les apports interannuels et la crue de projet. Elle a consisté dans un premier temps, à déterminer les caractéristiques physiques du bassin versant et dans un second temps, aux calculs des apports et de la crue de projet. Compte tenu de l'incertitude sur la définition des paramètres, et afin de mieux cerner les valeurs les plus plausibles, la détermination de la crue de projet va s'appuyer sur deux méthodes différentes de calcul de crue décennale, à savoir la méthode ORSTOM et la méthode CIEH. Le bassin versant correspondant au site a été délimité sur la carte topographique du Burkina Faso au 1/200.000, feuille de Léo au degré carré.

a) Caractéristique du bassin versant

➤ Superficie du bassin versant

La superficie du bassin versant a été calculée sur Arc View à partir de la feuille topographique de Léo. Nous avons eu à notre disposition un fichier numérique de la carte topographique sous format image que nous avons importé sur Arc View. La superficie a été calculée dans une vue projetée en UTM, zone 30 de Clark 1980, avec le script « calcaplave ». Elle est de $21,402 \text{ Km}^2$.

Tableau 5: Tableau récapitulatif des caractéristiques du bassin versant

Caractéristiques du bassin versant	Quantitatives ou qualitatives	Observations
Superficie (S) en Km ²	22.402	Bassin de petite taille
Périmètre (P) en Km	18.56	
Indice de forme (K _s)	1.097	Bassin versant peu arrondi
Longueur du rectangle équivalent (L) en Km	5	
Pente moyenne (m/km)	4.23	Pente faible
Indice de pente Globale (I _g)	3.62	
Densité de drainage (D _d)	0.85	
Coefficient de ruissellement décennal K _{r10} (%)	20.75	

b) Etudes statistique des pluies

Nous disposons de série de données pluviométriques journalières et annuelles de 1961 à 2006 de la station de Boura. Boura est une localité située à 110 km de notre zone d'étude avec un régime pluviométrique assimilable à celui de Vara. La taille des différents échantillons est suffisamment représentative pour une analyse statistique.

➤ Pluie moyenne annuelle et Pluie décennale

Le traitement statistique a concerné les pluies annuelles de la station de Boura. En effet, l'étude des données par la méthode des moyennes mobiles ayant démontré l'homogénéité de l'échantillon, nous n'avons pas eu besoin de corriger les données. L'ajustement par la loi normale des pluies annuelles de Boura a permis de déterminer P₁₀ et la pluie moyenne annuelle P_{an} pour le calcul de la crue. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 6: pluie moyenne annuelle et pluie décennale

Pluie moyenne annuelle P _{an}	919 mm
--	--------

Source donnée pluviométrique de boura

➤ Pluie maximale journalière

L'ajustement numérique par la loi de Gumel a permis de déterminer la pluie maximale journalière décennale P_{10} . Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau7 : pluie journalière maximale

	Fréquence	Pluie ajustée (mm)	Intervalle de confiance à 95%	Pluie retenue
Pluie décennale P_{10}	0,90	107,5	15,81	108

Source donnée pluviométrique de boura

c) Détermination de la crue de projet

La crue décennale est définie comme la crue provoquée par la pluie décennale, toutes les autres conditions étant celles observées le plus fréquemment lors des fortes averses (humectation du sol, répartition spatiale de la pluie, végétation, ...)

➤ Méthode O.R.S.T.O.M

Cette méthode a pour but de déterminer la crue décennale sur les bassins du sahel et les zones tropicales sèches ; la méthode s'applique à des bassins dont la superficie est située entre quelques dizaines d'hectares à 1500 hectares.

La crue décennale Q_{10} est déterminée par la formule suivante :

$$Q_{10} = \frac{A \cdot P_{10} \cdot K_{r10} \cdot \alpha_{10} \cdot S}{Tb_{10}} \quad \text{Avec :}$$

A : coefficient d'abattement donné par l'expression suivante:

$$A = 1 - \left[\left(\frac{161 - 0,042 \times \bar{P}_{an}}{1000} \right) \times \log_{10}(S) \right] \quad (\bar{P}_{an} \text{ Pluie moyenne annuelle et } S \text{ Superficie du bassin versant})$$

$$A = 0,85$$

P_{10} : Pluie décennale journalière décennale $P_{10} = 108 \text{ mm}$

K_{r10} : Coefficient de ruissellement décennal fonction de la pente globale du bassin, de sa superficie, de sa classe de perméabilité et de la pluie décennale ponctuelle $K_{r10} = 20,75\%$.

α_{10} : Coefficient de pointe fonction de la zone climatique. $\alpha_{10} = 2,6$

Tb_{10} : Temps de base de la crue décennale $Tb_{10} = 929mn$

Avec les abaques et les formules mises au point par la méthode, les différents paramètres sont calculés. Les différents résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau : Valeurs des paramètres par la méthode ORSTOM

P_{10} (mm)	S (km ²)	A	K_{r10} (%)	α_{10}	Tb_{10} (mn)	Q_{r10} (m ³ /s)	Q_{10} (m ³ /s)
107,5	21,41	0,85	20,75	2,6	920	19,12	19,78

➤ **La méthode du C.I.E.H**

C'est une méthode qui a été mise au point sur 162 bassins versants de superficie inférieure à 2500 km² pour le calcul de la crue décennale dans les pays francophones d'Afrique.

La crue décennale est donnée par la formule suivante :

$$Q_{10} = a.S^b P_{an}^c . I_g . K_{r10}^e$$

Q_{10} : Débit de crue décennale

S : Superficie du bassin versant

P_{an} : Pluie annuelle moyenne

I_g : Indice globale de pente

K_{r10} : Coefficient de ruissellement annuel

a, b, c, d, e : coefficient de la régression multiple

La méthode CIEH a été traduite aussi en abaque utilisant les paramètres I_g , S et K_{r10} ; la lecture du débit de crue sur ces abaques donne les résultats suivants :

Tableau8 : Valeurs des paramètres par la méthode CIEH

Abaque	Paramètre	Débit Q_{10}
A	S, I_g	40
B	S, P, I_g	19
C	S, K_{r10}	30
D	S, K_{r10} , I_g	22

Source abaque CIEH

Pour plus de sécurité nous retenons comme débit de projet, le débit obtenu par la méthode CIEH et lu sur l'abaque D : $Q_{10} = 22\text{m}^3/\text{s}$

d) Estimation des apports

Pour estimer les apports nous utilisons la formule de TURC et COUTAGNE.

$$A = K_e \times P \times S \quad P : \text{pluviométrie de l'année} ; S : \text{superficie du bassin versant}$$

Le coefficient d'écoulement moyen annuel K_e est donné par :

$$K_e = \frac{(P_{an} - D)}{P_{an}}$$

Avec $P_{an} = 826 \text{ mm}$ (pluie moyenne annuelle)

D : déficit d'écoulement, il est fonction de λ

$$D = P_{an} - \lambda \times P_{an} \quad ; \quad \text{Avec } \lambda = 1 / (0,8 + 0,14 \times T)$$

$T = 28^\circ\text{C}$ (température moyenne de la zone)

$$\lambda = 0,21 \quad \text{on a} \quad 1/8\lambda = 0,592 < P_{an} = 0,826 < 1/2\lambda = 2,34$$

$$D = 0,652 \text{ m}$$

$$\text{D'où } K_e = 21\%$$

En année quinquennale sèche : $K_{e5} = 0,7 \times K_e = 14,7\%$

En année décennale sèche : $K_{e10} = 0,5 \times K_e = 10,53\%$

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 9: volume des apports annuels

superficie	Pluviométrie annuelle mm	Coefficient d'écoulement %			Volume écoulé (A en 10 ³ m ³)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
21,2	826	0,21	0,147	0,105	3677,35	2574,14	1839,67

(1) : année normale ; (2) : année quinquennale sèche ; (3) : année décennale sèche

Le calcul des apports montre que la quantité d'eau qui transite dans le bas-fond est faible, donc écarte la possibilité d'un aménagement à maîtrise total de l'eau par un barrage.

e) Dépôts solides

Nous estimons les dépôts solides par la formule de CIEH- EIER ou formule de GRESILLON.

$$V = D \times S \quad \text{avec } D : \text{dégradation spécifique annuelle (m}^3/\text{km}^2/\text{an)}$$

$$S : \text{superficie du bassin versant en km}^2$$

$$D = 700 \times \left(\frac{P}{500} \right)^{-2,2} \times S^{-0,1} = 170,8 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$$

$$V = 3654,7 \text{ m}^3/\text{an}$$

Cette valeur des dépôts démontre une érosion importante des versants, il faudra donc prévoir des mesures de protections des versants afin de limiter l'érosion amont et préserver la fertilité des sols du bas-fond.

VIII. ETUDES D'AMENAGEMENT

Le choix du type d'aménagement de bas fond va dépendre des caractéristiques du site et des besoins exprimés par les populations à travers leur demande. L'objectif d'un aménagement est de mieux gérer la ressource hydrique.

On peut classer les ouvrages en trois grands types :

- Les ouvrages d'épandage et de régulation : ils épandent et régulent les crues, ils peuvent stocker temporairement une lame d'eau ;
- Les ouvrages de dérivation : ils dérivent une partie de l'écoulement de base d'un cours d'eau pour alimenter les parcelles ;
- Les ouvrages de stockage : ils stockent pour une durée plus ou moins longue les écoulements.

VIII.1. Typologie des ouvrages d'épandage de crue

Ces ouvrages sont en général réalisés en tête de bassin versant ou sur des sous bassin versants d'une superficie de 5 km² à 20 km².

On dispose de deux types principaux d'ouvrages qui agissent différemment :

- augmentation de l'infiltration (digue filtrante)
- maintien d'une lame d'eau (digue déversante).

Après avoir déterminé les caractéristiques hydrologiques (apports, débit de crue, pente longitudinale, zone d'épandage) du micro bassin, le choix déterminant le type d'ouvrage est surtout lié aux besoins en eau à satisfaire et à la gestion de la lame d'eau déversante en temps de crue (débit de crue par rapport à la longueur déversante).

VIII.1.1. Les digues filtrantes

Ce sont des ouvrages de forme et de taille variée. Les digues filtrantes permettent facilement de remettre en valeur des zones agricoles perdues, là où subsistent des écoulements.

Les digues filtrantes reproduisent à peu près le fonctionnement des cordons pierreux anti-érosifs. La digue filtrante intercepte un écoulement à pente hydraulique forte, éventuellement de régime fluvial, mais le plus souvent torrentiel, donc à forte capacité érosive. Le franchissement du seuil doit faire passer l'écoulement en régime

fluvial : toute l'énergie érosive est concentrée dans le passage du seuil et les écoulements sont répartis sur toute la longueur du bas fond. Elles sont disposées soit de façon perpendiculaire à l'axe du bas-fond sous forme d'un seuil au tracé rectiligne et à crête horizontale (le plus courant), soit en courbe de niveau. A

noter que les digues filtrantes ne retiennent que temporairement une lame d'eau ; dès la fin de la crue, l'eau retenue filtre à travers les pierres.

VIII.1.2 Digos en terre en courbes de niveau

La vocation de ce type d'aménagement est rizicole. Les digues en courbe de niveau sont en général adaptées aux bas-fonds avec de petits bassins versants ou aux têtes de bas-fond, là où les écoulements de surface ne sont pas encore trop importants. Elles peuvent aussi intercepter des écoulements de versant.

Ces digues délimitent des casiers le plus souvent non planés sur lesquels les différences de cote du terrain naturel sont en général inférieures à 30 cm. La surface d'emprise des digues est fonction de la pente longitudinale du bas-fond, ce qui limite l'implantation de ce type d'aménagement sur des sites dont la pente est inférieure à 1%. Pour des pentes supérieures, la perte de surface agricole devient trop importante.

Les digues permettent au cours des périodes pluvieuses, le stock d'une lame d'eau de 10 cm à 30 cm, qui sécurise l'alimentation hydrique du riz en période de sécheresse et qui freine le développement des adventices. Le bon fonctionnement de ce type d'aménagement nécessite une implantation des digues sur des bas-fonds non filtrants afin de minimiser les pertes par infiltration. La permanence de l'eau stockée ne dépasse pas une dizaine de jours.

Pour éviter l'asphyxie du riz en début de cycle, chaque diguette doit être munie d'un ouvrage de vidange (Pertuis à batardeaux, voir tube PVC ou en poterie pour les petits ouvrages) placé à proximité de l'axe naturel d'écoulement du bas-fond.

VIII.1.3. Digos entièrement déversantes ou seuils rizicoles

Les digues étanches et déversantes ont toujours une vocation rizicole affirmée. Une digue déversante parfois appelée « seuil rizicole » est un micro barrage constituée d'un muret (seuil) de 0,6 à 1,2 mètre de haut. La digue vise à stocker l'eau des crues en amont et à constituer une lame d'eau favorable au riz. Une retenue d'eau est ainsi créée en saison des pluies par la digue et un pertuis à batardeaux permet de réguler la hauteur d'eau en fonction du stade de végétation du riz. La digue entièrement déversante joue également le rôle de déversoir pour l'évacuation des crues. Son dimensionnement est calculé en fonction de la superficie à sécuriser, de la topographie du site et de l'hydrologie.

La fermeture du pertuis en début d'hivernage permet de stocker les premiers ruissellements et favorise ainsi l'humectation du sol. L'ouverture du pertuis permet ensuite l'implantation du riz dans de bonnes conditions. Une fermeture progressive accompagne la croissance du riz, qui ne doit pas être submergé plus de 3 jours consécutifs. La vidange a lieu en fin de cycle de culture lors de la maturation du riz et de sa récolte.

Le seuil rizicole crée, selon la hauteur de déversement et la topographie du site, une zone d'immersion

profonde d'environ 0,50 à 1 mètre dans la zone centrale du bas fond, une zone inondable de 0 à 0,25 m sur les bords de la retenue et entre les deux une zone d'immersion moyenne. A chacune de ces trois zones va correspondre une situation rizicole particulière. Les digues déversantes permettent effectivement de maintenir une lame d'eau et de cultiver un riz inondé à partir du moment où l'inondation est réalisée (les sols ne doivent pas être trop filtrants).

VIII.2. Proposition de variantes d'aménagement et choix

La pertinence agronomique d'un aménagement rizicole se détermine à partir d'un diagnostic agronomique identifiant la part des contraintes hydriques dans les performances du bas-fond et d'un diagnostic hydrologique sur les formes et l'ampleur de l'insécurité hydrique. Dans notre cas, le temps et les moyens mis à notre disposition ne nous ont pas permis de faire le diagnostic agronomique ni un suivi piézométrique pour vérifier de la pertinence d'un stress hydrique.

Les paysans ont évoqué le problème de baisse de pluie et de manque d'eau dans le bas-fond. La baisse des nappes est une réalité irréfutable mais en zone soudanienne, les pluies suffisent presque pour la culture du riz pluvial. Même si le bas-fond est aujourd'hui exondé avant la récolte, cela ne justifie pas qu'il y'ai stress hydrique. La profondeur de la nappe et les remontées capillaires peuvent parfois suffire pour assurer la fin du cycle. Dans un certain nombre de cas, la cause de l'abandon ou de baisse de rendement dans les bas-fonds tient à d'autres facteurs, en particulier l'accroissement de la pression des adventices liée à une inondation plus tardive du bas-fond. Le lien avec les conditions hydriques est donc indirect ; d'autres solutions moins coûteuses (sarclage mécanique, herbicides) peuvent être trouvées. Il est donc indispensable de s'assurer que la contrainte hydrique est avérée avant tout aménagement afin d'optimiser les investissements (Philippe Lavigne Delville, Nicolas Camphius, 1998).

En effet, en supposant la contrainte hydrique avérée, au regard des caractéristiques de notre bas-fond (pente faible 0,45%, sol imperméable, bonne qualité du sol) et en prenant en compte la motivation des paysans, le bas-fond de Vara se prête à un aménagement rizicole.

Le diagnostic rapide de pré-aménagement DIARPA adapté au contexte soudano-sahélien du Burkina Faso proposé par DIALLO CELLOU (2006) suggère pour le bas-fond de Vara un seuil déversant T1. Cependant nous pensons qu'un aménagement avec des diguettes suivant les courbes de niveau conviendrait mieux pour ce bas-fond vu ces caractéristiques et les objectifs que les paysans attendent de l'aménagement. Cette option, d'ailleurs souhait par le promoteur demandera des mesures d'accompagnements plus lourdes vu l'importance du débit 157 l/s.

VIII.2.1. Comparaison des deux types d'aménagement

a) Du point de vue fonctionnel

Les diguettes en courbe de niveau réalisées avec une dénivelée constante présente l'avantage d'étaler une lame d'eau sur toute la zone d'influence de la diguette. Les pertuis de vidanges permettent de vidanger les parcelles pour éviter l'asphyxie du riz en début de cycle, ou pour des besoins d'exploitation (vider le bas-fond pour les besoins de labour, ou de récolte en fin de cycle). Cependant vue l'importance du débit de crue 157 l/s on doit s'attendre à une dégradation plus rapide des diguettes donc à des mesures d'entretien plus récurrents.

Par contre l'aménagement par la technique des seuils déversant, mis à part le fait de supporter les crues à débit élevé pose généralement des problèmes d'exploitation. En effet, l'aménagement en seuil rizicole a l'inconvénient d'étaler une lame d'eau à hauteur variable du fait de la différence de topographie ce qui amène les producteurs à avoir des intérêts contradictoires selon leur position topographique, ou la date de semis. Les uns (en haute zone) veulent fermer la vanne pour augmenter la lame d'eau, les autres (en basse zone) les ouvrir pour éviter de noyer les parcelles. Cette interdépendance des exploitants pose de nombreuses difficultés pour la gestion de l'eau (Philippe Lavigne Delville 1998).

b) Du point de vue économique

L'étude économique comparative à partir du tableau estimatif des coûts à l'hectare proposé par le Manuel Technique d'Aménagements de Bas-fonds Rizicoles au Burkina Faso se présente comme suit :

Tableau10 : Etude économique comparative des deux types d'aménagements envisageables

Modèle technique d'aménagement	Mode de Réalisation des Travaux			
	Régie avec participation des bénéficiaires	avec des bénéficiaires	Entreprise sans participation des bénéficiaires	sans participation des bénéficiaires
DD/BC	1,2 à 1,5 Million		1,8 à 2 Million	
DCN/R			0,5 à 0,75 Million	

Source Manuel Technique d'Aménagements de Bas-fonds Rizicoles au Burkina Faso

Il ressort de ce tableau donc que l'aménagement du bas-fond de Vara par la technique des seuils déversants en béton cyclopéen (DD/BC) s'élève à un coût total de **26 millions** tandis que qu'un aménagement en diguettes suivant les courbes de niveau (DCN/R) engendrerait un coût de **19,5 millions**. Les coûts ont été estimés en supposant que les travaux seront réalisés avec une participation des bénéficiaires. Nous remarquons que le coût de l'aménagement du bas-fond en DD/BC est largement au dessus de celui des DCN/R. cette différence n'est pas négligeable d'une part pour les paysans de Vara vue la précarité dans laquelle ils vivent, d'autre part pour le promoteur qui pourrait utiliser ce reliquat d'investissement pour aménager d'autres bas-fonds.

Au terme de cette étude comparative nous confortons le promoteur dans son choix pour aménager le bas-fond par des diguettes en courbes de niveau.

VIII.2.2. Description du type d'aménagement retenu

L'objectif des aménagements du Plan d'Action de la Filière Riz (PAFR) est de maintenir une lame d'eau uniforme dans les rizières afin de sécuriser le riz pendant toute la campagne contre les périodes de sécheresses.

L'aménagement retenu pour le bas-fond de Vara est celui des diguettes en terre compacté suivant les courbes de niveau de type PAFR. Elles auront un auteur de 35cm avec une tolérance de plus ou moins 5 cm et une dénivelée de 30 cm entre les diguettes. Cette tolérance permettra de lisser les courbes lors de l'implantation afin d'éviter les fortes courbes ou les zigzagues qui compliquent les travaux de compactages. La pente du talus amont sera de 1H/1V et à l'aval nous aurons une pente de 2H/1V afin de réduire la force érosive de l'eau à l'aval. A l'approche des berges ou la pente transversale varie brusquement et pour augmenter la zone d'influence de la diguette, la diguette quittera la courbe de niveau pour suivre un alignement perpendiculaire à celle-ci : c'est la fermeture de la diguette. Les diguettes seront réalisés de l'amont vers l'aval de sorte que la côte de la crête de la diguette amont soit égale à la côte du terrain naturel de l'axe de la diguette avale. Ceci pour avoir au moins une lame d'eau uniforme sur toute la zone d'influence de la diguette.

Afin de protéger les diguettes en terre compactée contre la force érosive de l'eau, les diguettes seront protégées par un enrochement posé sur une toile de polypropylène, faisant office de géotextile. Sans cette protection, la terre, même compactée et enherbée, serait emportée par l'eau. L'enrochement ne maintient pas seulement le substitut de géotextile mais agit aussi comme une digue filtrante. Il ralentit les vitesses de l'eau, brise l'énergie de la chute d'eau et relève le niveau de la lame d'eau lors d'une crue (document de formation CFPI)

Les diguettes protégées sont munies d'ouvrage de régulation des crues : des pertuis de vidange avec vannette. Ces pertuis permettront aux producteurs de vider les casiers de tout l'aménagement en trois jours, notamment après le passage d'une crue quand les plantes sont encore de petites tailles ou pour des raisons de travail dans les casiers (labour, récolte ...)

VIII.3. Caractéristiques techniques des ouvrages de l'aménagement

VIII.3.1. Le remblai compacté

Les diguettes seront confectionnées avec de l'argile non gonflant compacté, entièrement déversantes sur toute leur longueur. La longueur moyenne de notre surface aménageable est de 800m (confer plan aménagement), la dénivelée totale est de 3,78 m (cf. courbe hypsométrique); ce qui nous donne un nombre total de 13 diguettes avec une dénivelée unitaire de 0,3 m (ce nombre est en conformité avec le nombre de diguettes de notre plan d'aménagement). Cependant il faut noter que la première diguette à partir de l'amont DCN1 (confer plan d'aménagement) ne sera pas réalisée car sa zone d'influence est à l'extérieur de la superficie aménageable. La longueur totale des diguettes est de 3109,84 m. Chaque diguette aura une largeur en crête de 0,2 m et une hauteur moyenne de terre compactée de 0,35 m avec une largeur de base de 1,25 m. Les moellons utilisés pour l'enrochement auront un diamètre de 200mm pour éviter qu'ils ne soient emportés par l'eau.

VIII.3.2. La lame d'eau de versante sur les diguettes

Dans un aménagement en digues en terre, les caractéristiques des digues devront s'adapter aux différents régimes hydrologiques. En amont, là où les volumes d'écoulement et de vidange sont faibles, et en aval où les débits sont violents. Les crues sont évacuées par débordement sur la crête des digues, ce qui n'est possible sans dommages érosifs que pour des lames déversantes moyennes admissibles. Pour les diguettes en courbe de niveau revêtues la lame de déversement maximale admise et qui est sans dommage pour les diguettes est de 10cm (cours d'aménagement des bassins versant).

L'écoulement de l'eau sur les diguettes suit la loi de débit suivante :

$$Q = m \times L \times (2g)^{0,5} \times H^{(3/2)}$$

Q : débit de pointe

m : coefficient de seuil, $m = 0,35$

L : longueur de la diguette

H : lame d'eau deversante

Tableau 11: hauteur de la lame deversante sur chaque diguette

désignation	h	L	H
DCN0	0,55	115,54	0,25
DCN1	0,55	125,15	0,24
DCN2	0,55	155,34	0,21
DCN3	0,55	244,9	0,154
DCN4	0,55	250,36	0,152
DCN5	0,55	295,1	0,136
DCN6	0,55	290,95	0,138
DCN7	0,55	315,55	0,130
DCN8	0,55	324,9	0,128
DCN9	0,55	315,62	0,131
DCN10	0,55	333,9	0,126
DCN11	0,55	305,42	0,133
DCN12	0,55	316,6	0,130

La diguette qui déverse avec la plus forte charge est la DCN12 avec 25cm et celle qui déverse avec la plus faible charge est la DCN7 avec 13cm.

Nous remarquons donc, que toutes nos diguettes déversent avec une lame d'eau supérieure à la maximale admise, ce qui montre que nos diguettes seront soumises à une force d'érosion hydrique trop élevée. Pour diminuer cette force érosive c'est dire la hauteur de la lame deversante sur les diguettes nous prévoyons d'augmenter la longueur de nos diguettes et de renforcer leur protection. Cette solution donne après calcul une lame d'eau deversante moyenne de 13 cm pour les 8 premières diguettes à partir de l'amont (DCN 1- DCN8), nous estimons acceptable cette lame deversante vue qu'elle a été calculée avec un débit de crue déterminé avec une erreur d'incertitude assez élevé. Quant aux quatre dernières diguettes nous prévoyons de renforcer leur protection avec des moellons de plus gros diamètre (300 à 350 mm). Pour limiter également l'érosion hydrique à l'aval de l'aménagement nous prévoyons une protection du lit mineur à l'aménagement c'est-à-dire après la DCN12. Le lit mineur à l'aval sur une distance de 5m sera protégé par un enrochement de moellons.

VIII.3.2. Le pertuis de vidange

Les pertuis auront une largeur de 0,6 m et ont une chute munie de moellons en aval. L'épaisseur des bajoyers est de 0,2 m avec une hauteur variable suivant la pente de la diguette. Le volume de béton par ouvrage est d'environ 0,5 m³. Ces ouvrages seront coulés sur place par un tâcheron, ou l'entreprise réalisant les travaux.

La protection contre les renards sera assurée par des murets anti-renards raccordés aux bajoyers de part et d'autres du pertuis, ainsi que l'ancrage à l'aide de para fouille. En effet, lorsqu'un ouvrage en béton

est en contact avec un remblai ou une fondation meuble, il y a risque d'apparition des renards par entraînement des particules fines d'où l'impérieuse nécessité de le protéger pour la pérennité de l'aménagement. Le dimensionnement des organes anti-renard se fait en appliquant la règle de Lane et en prévoyant des écrans de dimension suffisante pour allonger le cheminement de l'eau vu l'importance de la crue.

D'après le document de formation sur les aménagements PAFR produit par la CFPI, le nombre de pertuis par diguette est généralement de deux si la superficie à vider à l'amont de la diguette est inférieure à 10 ha. Ce nombre est porté à 3 pertuis par diguette si la superficie à l'amont de la diguette est supérieure à 10 ha. Pour notre bas-fond nous aurons au total 28 pertuis de 35 cm de hauteur et 60 cm de largeur.

$$N_p = 28 \text{ pertuis} ; h = 0,35 \text{ m} ; b = 0,6 \text{ m}$$

VIII.3. Planage et labour

Le planage est une opération qui permet de diminuer les pentes du TN afin de limiter la concentration préférentielle de l'eau sur les parcelles. Le mouvement des terres se fera des terres hautes vers les terres basses ; si la couche végétale n'est pas suffisamment épaisse et qu'on n'est amené à creuser en profondeur (pas plus de 15 cm), on décavera au préalable la terre végétale que l'on stockera à côté avant d'opérer le décaissement sur la terre non fertile qui sera déplacée pour d'autres usages, puis on reprendra la terre végétale afin de retrouver la structure initiale.

Le périmètre sera parcellé en unité moyenne de 0,2 ha et chaque parcelle sera identifiée sur le terrain par une plaque en bois de 5 x 5 cm² fixé sur une barre en fer Ø8 et de 60 cm de hauteur. Un labour profond (50 à 80 cm) sera exécuté en première année perpendiculairement à la pente générale sur toute l'étendue du périmètre afin d'augmenter la réserve utile du sol.

VIII.4. Gestion et entretien des ouvrages

VIII.4.1. Les diguettes

Une utilisation pérenne de l'aménagement nécessite de la part des exploitants des actions d'entretien préventif et curatif des diguettes. L'entretien préventif consiste essentiellement dans le nettoyage, le désherbage le long des diguettes et le repositionnement des moellons déplacés. Ce type d'entretien se fait annuellement par les producteurs. L'entretien curatif a comme objectif de réparer les dommages occasionnés par les crues, le passage des animaux et des interventions divers des hommes. Ce dernier type d'entretien nécessite souvent plus d'expertise. Il sera donc recommandé aux producteurs de

mettre en place une cellule d'entretien des diguettes, dont les membres seront formés par les techniciens du PABSO.

➤ Entretien préventif (en saison sèche : Avril)

Les travaux champêtres commencent avec le nettoyage des terrains à cultiver. Il y a donc lieu de rappeler au groupement que le nettoyage de l'aménagement fait aussi partie de ces travaux, qui ne devrait pas se limiter aux seules parcelles, mais aussi inclure les diguettes. Il s'agit plus précisément de replacer les moellons déplacés, de faucarder les herbes le long des diguettes.

➤ Entretien curatif (après l'hivernage : Octobre – Janvier)

A la fin de l'hivernage, l'humidité résiduelle permet de recharger les diguettes, de combler les brèches et de compacter la terre. Comme pendant cette période la main d'œuvre est très sollicitée il faudra insérer dans le règlement intérieur du groupement, que les producteurs affectent en cas de brèche un ou deux jours pour l'entretien curatif qui consiste à :

- L'enlèvement des moellons ;
- L'enlèvement du polypropylène ;
- Au décapage sommaire ;
- L'humidification de l'assise ;
- L'apport de terre argileuse en petites couches de 10cm au bon taux d'humidité ;
- Au compactage avec une dame à main ;
- La mise au gabarit à la daba ;
- La protection du nouveau corps en polypropylène et en moellons.

VIII.4.2. Les pertuis de vidanges

➤ Entretien préventif (Octobre – Janvier)

➤ Remplacement des moellons déplacés.

➤ Remblaiement des amorces de renards et d'affouillements avec de la terre argileuse.

➤ Entretien curatif (Janvier à Mai)

➤ Réparation de l'ouvrage par un maçon

VIII.5. Ouvrages de protection du bassin versant

Lors de la visite de terrain, nous avons pu constater en inspectant les arrivées d'eau latérales quelques griffes d'érosion surtout au niveau amont avec des dépôts de sable le long des pistes d'accès au bas fond. Preuve que l'érosion au niveau des hautes terres n'est pas négligeable. Pour limiter cette érosion des sols amont et l'envasement du bas-fond, des actions d'envergures sont à entreprendre ou à encourager dans tout le bassin versant. Il s'agit notamment de la mise en place de cordons pierreux suivant les courbes de niveau dans tous les champs exploités.

Ces cordons pierreux constitués d'une double rangée de blocs de cuirasse ferrugineuse, suivent les courbes de niveau avec une dénivelée de 20 cm. Ces cordons, accroissant l'infiltration, provoquent un écrêtage et un allongement de la durée des crues, dont ils réduisent la puissance érosive. Il favorise également l'installation du peuplement végétal qui contribue à diminuer les transports solides, donc l'envasement.

IX. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

La réalisation d'un projet d'aménagement de bas-fond concerne un espace particulièrement vaste dont l'équilibre doit être préservé. Pour préserver cette harmonie de la nature, il convient de déceler les conséquences de l'aménagement sur l'environnement pendant les travaux et post aménagement. Afin de prendre des mesures préventives nécessaires pour enrayer ou limiter ces impacts.

L'objectif de la présente étude environnementale est de déceler les impacts positifs pour mieux les amplifier et de répertorier les impacts négatifs pour la recherche des mesures d'atténuations et de compensations adéquates.

Le projet envisagé est celui de l'aménagement du bas-fond de Vara par la technique des diguettes en courbe de niveau revêtues. Il aura certes, une influence bénéfique sur le village, mais ses incidences négatives sur l'environnement ne sont pas à occulter.

IX.1 Présentation de la situation actuelle et identification des impacts prévisibles de l'aménagement

Le bassin versant du bas-fond de Vara présente un relief très peu accidenté. Il est de forme arrondi, et morphologiquement en crête de poisson du point de vue hydrographique. Les sols sont de type limono-sableux à limono-argileux.

Le bassin se trouve dans la zone climatique sud soudanien caractérisé par une longue saison sèche rude et une saison de pluies courte avec une végétation du type savane arborée et arbustive. Les espèces rencontrées sont : *Parkia biglobosa*, *Acacia albida*, *Balanites aegyptiaca*, *Tamarindus indica*, *Ziziphus mauritiana*. La faune sauvage est constituée de rats, de lièvres, de lézards d'écureuils, en grande majorité. Les perdrix, les pintades sauvages et les hérons sont en tête de la faune aviaire.

IX.2 Impacts sur le milieu naturel

IX.2.1 Phase d'exécution des travaux

Pendant le déroulement de cette phase, on assistera inéluctablement à la destruction des sols et des champs par les travaux mécanisés. Cette destruction se fera aussi bien au niveau des emprunts, par les excavations, qu'au niveau des champs, par le piétinement des roues des engins de terrassement. Les sols dans les endroits de stockage des hydrocarbures des lubrifiants et d'installation du chantier seront pollués par rejet directe de déchets liquides (huile de vidange, hydrocarbure...). Ces huiles ont la particularité de

boucher les pores superficielles des sols, donc éliminent certains herbacés et micro-organismes qui participent au processus de formation de la couche humifère du sol. Ces sols pourront également être pollués par les déchets solides (gravats, carcasses d'engins, batteries et divers déchets).

L'impact de l'aménagement durant cette phase sur le sol sera négatif et pérenne

L'utilisation des eaux souterraines pour les besoins de la construction aura pour effet d'épuiser la nappe phréatique. En plus, il y a des risques de pollution si des précautions ne sont pas prises (huile de vidange). Dans l'ensemble l'impact sur les eaux souterraines durant cette phase sera négatif et non pérenne.

La destruction de la flore sera aussi évidente depuis les chemins empruntés par les engins de terrassement jusqu'au bas-fond. Compte tenu du fait que le bas-fond est assez dégagé, il n'y a pas assez d'arbre dans l'espace aménageable, l'impact sur la flore durant cette phase sera négatif et pérenne.

La faune sauvage sera grandement perturbée par les bruits émis par les engins, aussi la destruction du sol et de la flore aura pour effets, la destruction des habitats des animaux et la destruction de la microfaune entraînant une réduction de la biodiversité et une perturbation de la faune sauvage en général. En ce qui concerne les animaux domestiques, ils seront surtout perturbés par le bruit des engins. L'impact de l'aménagement sur la faune durant cette période sera négatif et pérenne.

IX.2.2 Phase d'exploitation

Une exploitation trop intense des parcelles ainsi que des techniques culturales mal adaptées peuvent entamer les qualités structurales et chimiques des sols. L'immersion prolongée des sols consécutivement à la présence des diguettes modifiera profondément la dynamique physico-chimique et biologique des sols et bouleversera l'écosystème édaphique en place. La stagnation des eaux entraînera un manque d'oxygène dans le sol, responsable du changement des populations microbiennes et des phénomènes d'oxydoréduction. L'alternance des phases d'immersion et de ressuage se traduira par la succession de diverses espèces spécifiques.

L'horizon superficiel des sols sera également modifié physiquement par les dépôts successifs de sédiments transportés par les eaux de ruissellement. Cela se traduira par un rehaussement et un aplanissement progressif de la surface avec tendance au comblement de la cuvette. Selon la nature des sédiments déposés, l'effet sur la fertilité des sols pourra être bénéfique (sédiments fins, limons) ou fortement dommageable (sables grossiers). En général, l'effet est plutôt positif, à condition de maintenir un couvert végétal suffisamment développé sur les versants, qui limite l'énergie de l'eau et donc l'arrachage de grosses particules.

En somme l'impact de l'aménagement aura un impact positif sur le sol pendant l'exploitation avec une simple sensibilisation des paysans.

La présence de l'ouvrage va participer à la recharge de la nappe souterraine donc va rehausser le niveau et augmenter la durée de l'eau dans les puits et puisards du bas-fond ; ce qui va permettre la pratique de la maraîchéculture et faciliter l'abreuvement du bétail. Cependant La pratique de la maraîchéculture de contre saison avec utilisation d'engrais et d'autres produits phytosanitaires peut entraîner une pollution des eaux souterraines si des mesures sont pas prise. Notons aussi En année sèche l'aménagement provoquera un non remplissage de la marre naturelle située à l'aval de l'aménagement et qui sert d'abreuvoir pour la faune domestique et sauvage. En somme nous pouvons dire que l'impact sur l'eau souterraine sera positif et pérenne.

Au niveau de la flore, on notera une disparition de certaines espèces végétales ne supportant pas les sols engorgés dans les zones inondées notamment certains herbacées. Cependant cette humidité permanente du bas-fond va favoriser la naissance d'un microclimat propice au développement d'une nappe herbacée et végétale. On aura globalement un impact positif sur la flore pendant l'exploitation de l'aménagement.

IX.3 Impact sur le milieu socio-économique

IX.3.1 Phase d'exécution des travaux

Le démarrage des travaux va provoquer, le déplacement d'un flux massif de paysans sur le chantier à la quête d'emploi rémunérateur, d'où une perturbation de la vie des paysans. Des risques d'accidents de travail sont aussi à craindre au niveau des populations que ce soit pour les paysans qui vont ramasser les moellons ou pour les ouvriers recrutés sur le chantier de même que les enfants qui sont souvent à proximité du chantier par simple curiosité. Il y a aussi de grands risques d'accidents du fait de la traversée des villages par les véhicules et engins de chantier. Enfin, dans une moindre mesure vu que la durée des travaux sera courte les mœurs et la santé de la population de la zone pourrait être affectée (maladies respiratoire, IST...) par l'air atmosphérique pollué par la poussière et les émissions de gaz d'échappement des engins de terrassement et des relations humaines qui pourront naitres durant cette période.

Cependant, Au cours de cette phase, on observera une forte activité économique de la population de la zone entraînant un accroissement des revenus monétaires de celle-ci. En effet, l'installation du chantier, va favoriser le développement des activités commerciales comme la restauration ou la vente de produits de première nécessité et divers (pain, sucre, les pâtes, cigarette, boissons...). Il y aura en outre, de nouvelles opportunités d'emplois temporaires. Les femmes, bien que ne participant pas directement aux travaux de

construction, verront leurs revenus augmenter par la vente de divers produits sur le chantier (beignets, les mets locales...). La participation des villageois aux travaux du chantier va également leur permettre d'acquérir un certain savoir et savoir faire des petits travaux de génie civil, et dans une moindre mesure un changement de comportement sur le plan hygiénique de la population.

En somme l'aménagement aura un impact positif pérenne sur le milieu socio-économique durant cette phase.

IX.3.2 Phase d'exploitation

La mise en valeur du bas-fond va occasionner l'emploi des engrais chimiques et de produits phytosanitaires. Cependant, l'utilisation incontrôlée de ces produits due à une certaine ignorance peut entraîner de graves intoxications. Il est aussi à craindre un risque potentiel de conflit entre agriculteurs et éleveurs. En effet la relative humidité des berges du bas-fond au delà de la saison hivernale entretient un certain herbage propice au pâturage des troupeaux. Cette cohabitation agriculteurs-éleveurs si elle n'est pas réglementée crée toujours des conflits d'intérêts. Il ressort aussi de nos investigations, même si cet impact n'est pas directement lié à l'aménagement, que les puisards réalisés dans le bas-fond constituent des sources d'approvisionnement en eau de boissons des populations. Ces puisards de réalisation sommaire (non busés, pas d'aire assainie) reçoivent directement les eaux de ruissellement de même que toutes autres matières transportées par le vent. La consommation de ces eaux contaminées peut entraîner, des intoxications (utilisation des produits phytosanitaires), des maladies parasitaires (bilharziose, ascariose), bactériennes (salmonellose, la fièvre typhoïde, le cholera), virales (hépatite) ou même vectorielles (dracunculose).

Cependant, La mise en valeur du bas-fond va permettre aux paysans d'acquérir un savoir faire sur la pratique de certaines techniques agricoles. Une bonne pratique de ces techniques et un bon usage de l'aménagement permettra d'une part d'éviter certains impacts cité dans le paragraphe précédent et d'autre d'augmentera le rendement de la production rizicole du bas-fond. Ce qui aura pour conséquence une amélioration des revenus des paysans et une variation de leur régime alimentaire étant donné que tout le riz n'est pas destiné à la commercialisation. La maraîchéculture en plus d'améliorer le revenu des populations par la commercialisation des produits maraîchers, et d'enrichir la qualité nutritionnelle de l'alimentation traditionnelle des populations va occuper les paysans pendant la saison sèche donc va contribuer à freiner l'exode saisonnier des jeunes vers les villes. Au total l'aménagement aura un impact positif pérenne sur le milieu socio-économique pendant la phase d'exploitation.

IX.4 Mesures de limitation et de renforcement des impacts

Il s'agit d'éliminer autant que possible les impacts négatifs de l'aménagement. S'il y a des impacts résiduels, il faudra proposer des mesures de limitation et de compensation de ces impacts. Le projet aura aussi des impacts positifs qu'on s'évertuera à renforcer

IX.4.1 Mesures de limitation des impacts négatifs

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

- Mener des actions d'éducation sanitaire basées sur la sensibilisation afin d'inciter la population à l'abandon de la consommation des eaux des puisards non potable et à l'utilisation des puits modernes et des forages.
- Procéder au comblement des puisards afin de diminuer leur nombre trop élevés dans le bas-fond.
- Aménager des abreuvoirs ainsi qu'une piste d'accès pour les éleveurs.
- Amener l'entreprise responsable des travaux à respecter certaines bonnes pratiques environnementales. Elles correspondent à une démarche de qualité dans l'installation et les différentes activités de l'entreprise, allant vers un plus grand respect de l'environnement dans lequel elle intervient. Même si elles peuvent paraître parfois dérisoires, l'application de telles pratiques en amont peut éviter, à moindre coût, la survenue par la suite d'importantes nuisances qui nécessiteraient l'engagement de crédits élevés pour la correction. Il faut incorporer ces pratiques dans les dossiers d'appel d'offre puis dans les contrats de marché des entreprises au titre des clauses environnementales.

Ces pratiques concernent les aspects suivants :

- Choix et aménagement des sites de base de vie et installations fixes
- Respects des règles de sécurité du travail
- Sensibilisation du personnel à la protection de l'environnement et prévention des risques d'IST/SIDA
- Gestion des polluants liquides et déchets solides
- Réaménagement des zones d'emprunts après fermeture du chantier en vue de la restauration du milieu naturel
- Aménagement et restitution des bases vie.

La tenue d'une audience publique : elle consistera en une consultation publique dont l'objectif est de développer un espace propice au dialogue afin d'assurer une meilleure adéquation entre les attentes de la

population et les propositions des mesures de limitation et de renforcement des impacts. Les mesures environnementales envisagées seront exposées et éventuellement discutées.

IX.4.2 Mesures de renforcement des impacts positifs

- Sur le milieu socioéconomique : l'impact positif sur l'emploi et les activités économiques engendrés par aménagements pourra être renforcés par la promotion des actions d'amélioration de la productivité et de la rentabilité des cultures en particulier celles de contre saison. En organisant des séances de formation sur les techniques culturales et la pratique de la maraîchéculture. L'encouragement des femmes à la pratique du maraîchage va renforcer l'impact positif de l'aménagement sur la condition féminine d'un double point de vue notamment l'amélioration de l'état nutritionnel et l'augmentation des revenus.

- Sur le milieu biophysique : Il s'agira de préconiser des actions pour l'utilisation durable de l'aménagement. Sensibiliser les exploitants des versants à la conservation des sols afin de limiter l'énergie de l'eau en amont donc éviter l'arrachage des grosses particules. sensibiliser les exploitants à une meilleure cohabitation avec la petite faune qui va s'y développer et en particulier la faune aviaire qui pourra s'y désaltérer ; Il sera encouragé la reproduction de la faune qui trouvera refuge dans les parcelles en préservant cet habitat et éventuellement ce point de nidification.

X. Devis estimatif du coût de l'aménagement

L'approche très participative du PAFR implique que, préalablement à tout démarrage des travaux d'aménagement, les futurs bénéficiaires collectent les cailloux et les chargent dans les camions bennes. Les cailloux seront ensuite transportés dans le bas-fond par ces camions. Cette approche a aussi été adoptée par le PABSO.

Tableau 12 : Devis estimatif du coût de l'aménagement

N°	Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant
TRAVAUX D'AMENAGEMENT DU BAS-FOND					
1	Travaux préparatoires				
1.1	Installation et repli chantier	FF	1	1 200 000	1 200 000
1.2	Implantation diguettes	FF	1	300 000	300 000
	Sous total poste 1				1 500 000
2	Terrassements				
2.1	Débroussaillage et décapage de l'emprise des diguettes (ep = 10 cm)	m ³	389	300	116 640
2.2	Remblais compactés aux engins pour diguettes	m ³	1243.9	3 500	4 353 650
2.3	Déblais diguettes	m ³	871	2 500	2 176 875
2.4	Planage sommaire	ha	12.3	150 000	1 845 000
2.5	Labour	ha	12.3	100 000	1 230 000
	Sous total poste 2				9 722 165
3	Protection des diguettes				
3.1	Achat et pose de géotextile	ml	3109.85	1 950	6 064 208
3.3	Enrochement de Perré	m ³	933	5 000	4 665 000
	Sous total poste 3				10 729 208
4	Bétons - métallique				
4.1	Pertuis de vidange en béton + vannette métallique	U	28	50 000	1 400 000
	Sous total poste 4				1 400 000
Coût total de l'aménagement sans mesures de protection					23 351 373
Coût de l'aménagement à l'hectare sans mesures de protection					1 898 485.57
5	Coût de la protection des versants				1 525 000.00
6	Coût des mesures d'atténuation des impacts				390 000.00
Coût total de l'aménagement avec mesures de protection					25 266 372.50
Coût de l'aménagement à l'hectare avec mesures de protection					2 054 176.63

Le présent devis a été arrêté à Vingt Cinq Million Deux Soixante Six Mille Trois Cent Soixante Douze Franc CFA (**25 266 372 FCFA**) pour l'aménagement avec mesures de protection et atténuation des impacts soit un coût de **2 054 176 FCFA** environ pour l'hectare aménagé. L'aménagement sans mesures de protection des versants et d'atténuation des impacts donne un coût total de Vingt Trois Million Trois Cent Cinquante Un Mille Trois Cent Soixante Treize Franc CFA (**23 351 373 FCFA**) soit un coût de **1 898 485 FCFA** pour l'hectare aménagé.

XI. Rentabilité de l'aménagement

Un aménagement de bas-fond est un investissement productif. Comme tel, il doit entraîner des gains (tonnes de riz supplémentaires, gain de produits maraîchers, gain de poids des animaux mieux abreuvés et nourris, gain de temps sur le sarclage ou le puisage pouvant être réaffecté à d'autres activités, etc.). Ces gains permettent de rentabiliser le travail et l'argent investi. Un aménagement peut donc faire l'objet d'une évaluation économique prévisionnelle pour vérifier la pertinence de l'investissement. Cependant cette évaluation économique ne doit pas se limiter à une analyse simple du taux de rentabilité interne de l'aménagement (cas de la plus part des rapports de rentabilité) ; mais elle doit aller au delà car d'une part, il existe des effets de l'aménagement qui sont difficilement quantifiables du point de vue économique, par exemple une remontée de la nappe, l'abreuvement et le pâturage des animaux. D'autre part, l'évaluation économique se fait généralement, en supposant une succession d'année normale du point de vue pluviométrie sans tenir compte des cas de sinistres (inondation ou sécheresse). En outre, l'évaluation économique évalue le gain permis par l'aménagement et non le gain réel du paysan exploitant. Il importe donc de choisir ces hypothèses de calcul avec soin, le plus honnêtement possible, sans aboutir à des conclusions fausses par excès d'optimisme.

Un calcul économique sommaire de notre aménagement donne avec les hypothèses suivantes :

Rendement après aménagement 2t/ha ; Rendement avant aménagement 0,7t/ha. Ce calcul donne une marge brute de 130 000FCFA/ha pour un prix de 100FCFA/kg de riz paddy.

Pour un coût global de l'aménagement à 1 898 485 million par hectare aménagé, on a une durée de retour des investissements qui est de 15 ans ; ce qui suppose que l'aménagement n'est pas rentable s'il était destiné uniquement à la riziculture. Cependant, l'aménagement aura des impacts qui ne sont pas toujours prévisibles ou encore moins quantifiables. Par exemple une remontée de la nappe dans les puits domestiques (gain en temps), un herbage plus abondant sur les berges (pâturage). En plus cette remontée de la nappe encouragera une pratique de la maraîcheculture. Cela permettra d'occuper les jeunes pendant la saison sèche d'où une réduction de l'exode rural. Tous ces avantages ci-dessus nous permettent d'affirmer que notre aménagement sera rentable.

XII. CONCLUSION GENERALE

Cette étude d'avant projet sommaire d'aménagement du bas-fond de Vara révèle que celui-ci se prête bien à un aménagement rizicole avec une possibilité de pratiquer des cultures de contre saison. Au cours de l'étude, nous avons pu constater la volonté et l'intéressement de la population et l'existence d'une capacité réelle d'organisation sur laquelle le PABSO pourra s'appuyer pour mener à bien les différentes activités de l'aménagement.

L'étude a abouti à la proposition d'un aménagement du bas-fond par des diguettes en terre compactée, revêtues suivant les courbes de niveau. Elles permettront d'étaler au maximum la nappe d'inondation et de valoriser ainsi une surface rizicole la plus importante possible. Les diguettes au nombre de douze auront une hauteur totale de 55 cm (avec enrochement des moellons); chaque diguette sera équipée d'au moins deux pertuis de vidange permettant de vidanger le plan d'eau en amont de celle-ci.

Cependant, notons que certains aspects de notre étude n'ont pas pu être approfondis, faute de moyens et de temps, et font l'objet de la série de suggestions suivantes :

- Pour s'assurer de la proximité effective de la nappe après la saison des pluies donc de la pratique d'une maraîchéculture sans risque de stress hydrique, un suivi piézométrique du bas-fond est souhaitable durant cette période, pour le vérifier et prendre les dispositions nécessaires au cas échéant.
- Pour s'assurer de l'aptitude réelle du sol du bas-fond à la pratique de la riziculture, une étude pédologique plus approfondie est souhaitable afin d'évaluer la fertilité physico-chimique des sols du bas-fond et faire des recommandations pour un traitement éventuel.

BIBLIOGRAPHIE

- CIEH, Orstom, Cemagref (1996), Crue et Apport. Manuel pour l'estimation des Crues décennales et des apports annuels pour des petits bassins versants non jaugés de l'Afrique Sahélienne et tropicale sèche. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, 54 FAO, Rome.
- Philippe Lavigne Delville (GRET), Nicolas Camphius (ETSHER), Octobre 1998, Aménager les bas-fonds dans les pays du sahel
- Thiombiano Jérôme, Hamburg Gérard, Ubels Jan, Rapport Séminaire d'études techniques sur les aménagement de bas-fond, 25/27 avril 1988
- Manuel technique d'aménagement de bas-fond au Burkina Faso
- J.C Legoupil, B. Lidon, F. Maraux, F. Blanchet, B. Lammert (Nov 1997) La mise en valeur agricole des zones de bas-fond en Afrique de l'Ouest, Synthèse des travaux de CIRAD
- Bnoit Lisch (Sept 1992), fiche technique pour la construction d'ouvrages hydrauliques
- Cours photocopié d'Aménagement des bas-fonds
- L.M. Compaoré, cours photocopié de Barrage
- H. Karambiri, cours d'hydrologie
- Philippe Lavigne Delville, Jacky Boujou, Etienne Le Roy, Octobre 2000, Prendre en compte les enjeux fonciers dans une démarche d'aménagement
- Yaya Ballo, Adoulaye Coulibaly, Djibrilla Alassane ; Cheminement pour la conduite du diagnostic technique, Capitalisation d'expérience Eau, Terre et Communauté.
- Ph.Lavigne Delville GRET, 1998 ; Logiques paysannes d'exploitation des bas-fonds en Afrique soudano-sahélienne : quelques repères pour l'intervention

Sites internet

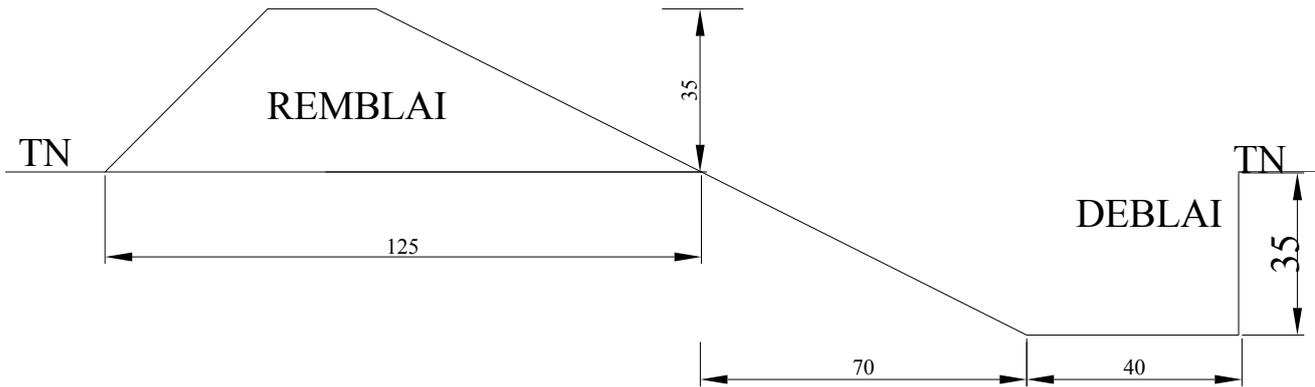
www.arid-afrique.org

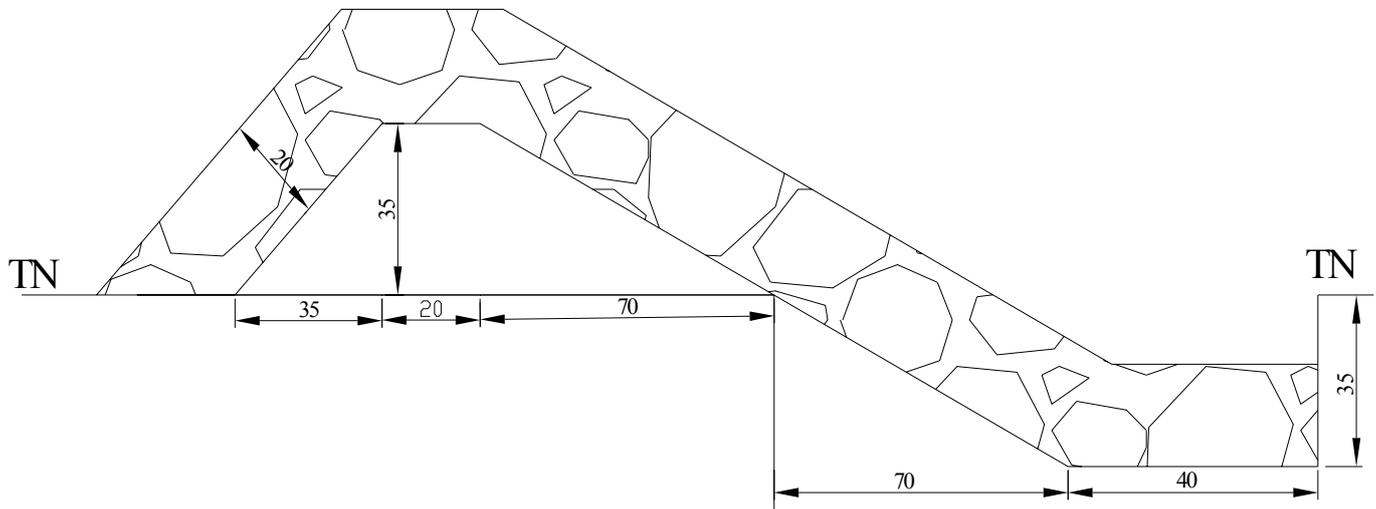
www.bf.refer.org

www.fao.org

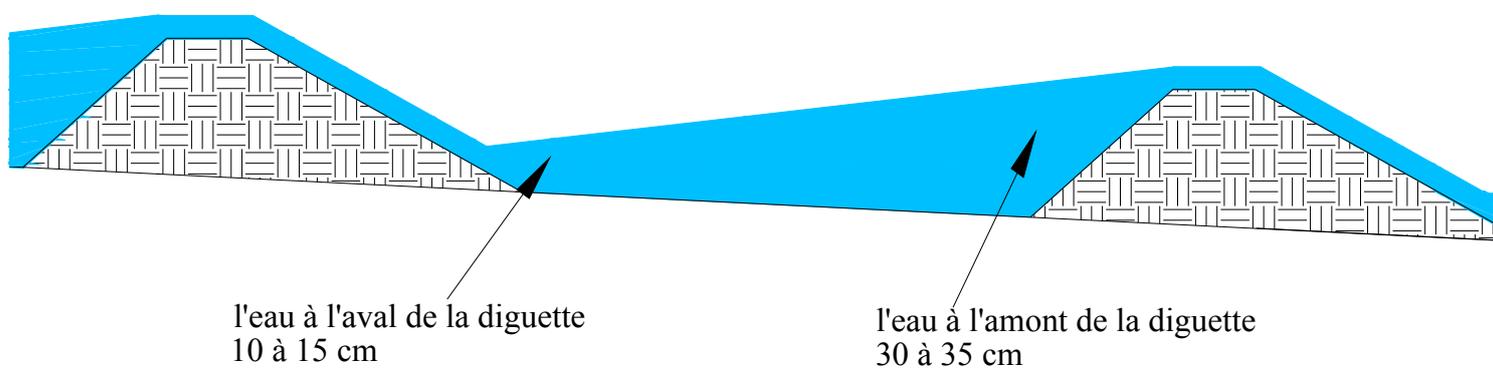
www.primature.gov.bf

ANNEXES

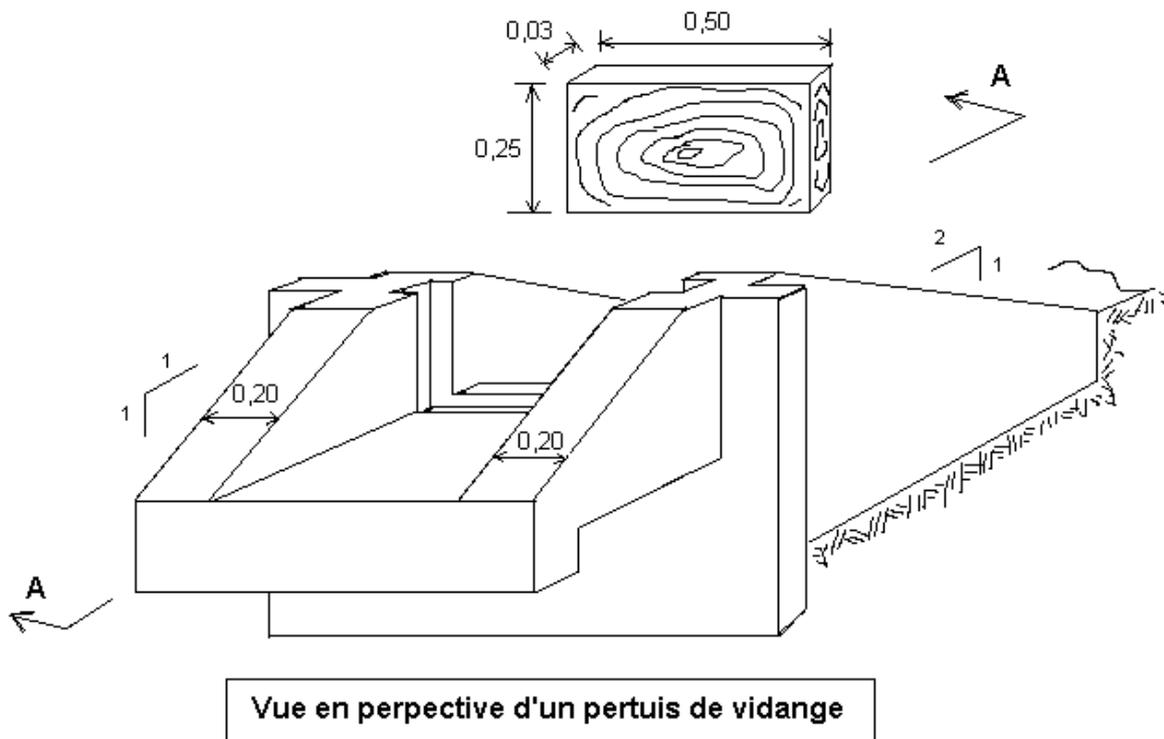
Annexe1 : Pièces dessinées**COUPE EN TRAVERS D'UNE DIGUETTE NON REVETUE**

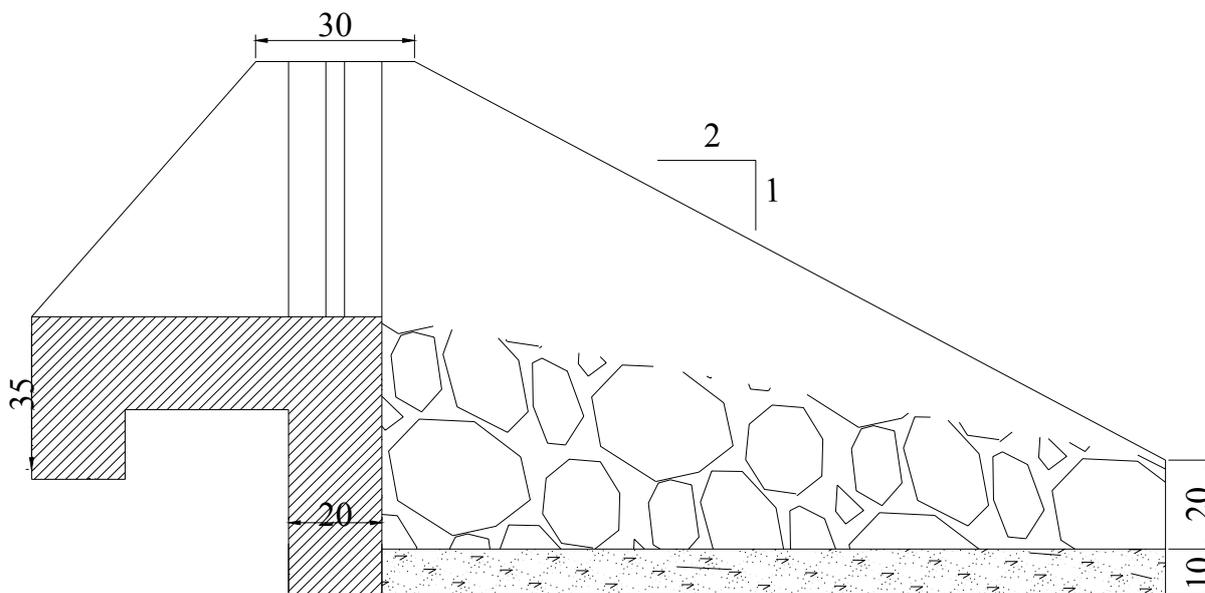
COUPE EN TRAVERS D'UNE DIGUETTE REVETUE**COUPE EN TRAVERS D'UNE DIGUETTE SUIVANT
LA COURBE DE NIVEAU REVËTUE**

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES DIGUETTE



PERTUIS





COUPE A-A

Annexe 2 : note de calcul

a) Dimensionnement des ouvrages de l'aménagement

Les principales caractéristiques de l'aménagement sont :

- Les dimensions de l'espace aménageable
- Le nombre et la longueur totale des diguettes
- Les dimensions d'une diguette
- Le nombre et les dimensions des pertuis

La longueur (L_a) et la largeur (l_a) moyenne aménageable est obtenue en prenant la moyenne des longueurs et largeurs de la section aménageable trouvée selon les critères du PAFR. Elles sont estimées à partir des profils en long et en travers du bas-fond.

$$L_a = 800 \text{ m} ; \quad l_a = 160 \text{ m}$$

La superficie aménageable (S_a) est obtenue par le produit de la longueur de la section aménageable (L_a) par la largeur moyenne aménageable (l_a).

$$\text{Superficie de l'aménagement } S_a = L_a \times l_a ; \quad \mathbf{S_a = 12,8 \text{ m}^2}$$

$\mathbf{L_a = 800 \text{ m} ; \quad l_a = 100 \text{ m} ; \quad S_a = 12,8 \text{ m}^2}$

➤ Calcul du nombre et de la longueur total des diguettes

Le nombre de diguettes est obtenu par le rapport de la dénivelée totale et la dénivelée unitaire :
 $N_d = H/h$

$$H = 3,78 \text{ m} ; \quad h = 0,3 \text{ m}$$

$$N_d = 12,6 \quad \rightarrow \quad N_d = 13 \text{ diguettes}$$

Nous avons donc 13 diguettes suivant les courbes de niveau, notre plan d'aménagement donne le même nombre de courbe de niveau espacé de 30 cm. Cependant la treizième diguette ne sera réalisée car sa zone d'influence est hors de la surface aménageable, **donc le nombre total de diguette à réaliser est 12.**

On obtient la longueur totale des diguettes (L_t) en multipliant la largeur moyenne aménageable (l_a) par le nombre de diguettes (N_d) par un facteur égale à 1,5 pour tenir compte du fait que les diguette se suivent pas la largeur du bas-fond.

Longueur totale de diguettes $L_t = 1,5 \times N_d \times l_a$ (exprimé en m).

$$\mathbf{L_t = 1920 \text{ m}}$$

Le plan d'aménagement donne une longueur totale des diguettes **de 3 109,84 m**

$\mathbf{12 \text{ diguettes} ; \quad L_t = 3 \text{ 109,84 m}}$
--

➤ Calcul des dimensions d'une diguette

La hauteur(h) de nos diguettes sans protection (sans enrochement de moellon) est fixée à 30 cm pour limiter le volume de remblai, avec une tolérance de plus ou moins 5 cm. La largeur en crête (Lc) est fixée à 20 cm pour permettre une marche d'homme ce qui permet avec les pentes des talus de calculer la largeur de base (Lb).

$$h = 35\text{cm} ; \quad Lc = 20\text{ cm}$$

$$Lb = Lc + 3h \quad \rightarrow \quad Lb = 125\text{ cm}$$

La hauteur totale des diguettes avec protection sera de 50 cm car les moellons de protection auront un diamètre de 20 cm

Lb = 125 cm; Lc = 20 cm; h = 35cm
--

➤ Calcul du nombre et des dimensions des pertuis de vidange

D'après le document de formation de sur les aménagements PAFR produit par la CFPI, le nombre de pertuis par diguette est généralement de deux si la superficie à vider est inférieur à 10 ha. Ce nombre est porté à 3 pertuis par diguette si la superficie aménagée est supérieur à 10 ha. Notre superficie aménageable est de 12 ha supérieur à 10 ha, on a donc :

Nombre pertuis de vidange(Np) = Nombre total de diguettes x 3 si superficie à vider > 10 ha

Nombre pertuis de vidange (Np) = Nombre total de diguettes x 3 (superficie à vider > 10 ha).

On 4 courbes de niveau qui ont plus de 10 ha de superficie à l'amont

$$Np = 8 \times 2 + 4 \times 3 = \mathbf{28\text{ pertuis}}$$

➤ Détermination des dimensions des pertuis

La quantité d'eau maximale d'eau stockée par une diguette est de : $V = 3314,6\text{m}^3$

Les pertuis sont dimensionnés pour vider le bas-fond en trois jours maximum donc chaque pertuis aura un débit minimum de :

$$q = \frac{V}{24 \times 3600 \times 3} = 0,013\text{ m}^3/\text{s}$$

En supposant que le pertuis fonctionne comme un canal en béton, La section hydrauliquement favorable est obtenue par résolution de l'équation de Manning-Strickler

$$Q = K_s \times S \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad K_s = 67 ; \quad R_h = h/2 ; \quad I = 0,5\%$$

$$Q = S \times V ; \quad S = h * b ; \quad V = 3\text{m/s} ; \quad h = 0,5\text{ m}$$

Après résolution de l'équation de Manning nous pouvons retenir :

$$h = 0,35 \text{ m} ; \quad b = 0,6 \text{ m}$$

$$N_p=28 \text{ pertuis} ; \quad h = 0,35 \text{ m} ; \quad b = 0,6 \text{ m}$$

b) Calcul du métré de l'aménagement

Le calcul des cubatures consiste à estimer le volume total des remblais et déblais nécessaires pour la réalisation des travaux de confection de diguettes.

➤ Le volume de déblais

Volume total de déblai(V_t) = Volume de déblai par mètre linéaire de diguette x LT

Le sol sera décapé sur une profondeur de 10 cm on a donc un volume de :

$$\text{Volume décapé} : 1,25 \times 0,1 \times 1 = 0,125 \text{ m}^3 \text{ par mètre linéaire}$$

$$\text{Volume déblais} : 0,28 \text{ m}^3 \text{ de déblais par mètre linéaire,}$$

➤ Le volume de remblais

Volume total de remblai(V_t) = Volume de remblai par mètre linéaire de diguette x LT.

On a un volume de $0,4 \text{ m}^3$ par mètre linéaire

$$V_t = 1 \text{ 243,94 m}^3 \text{ de remblais}$$

➤ Le volume de béton pour les pertuis

Un pertuis nécessite un volume de $0,5 \text{ m}^3$ de béton dosé à 250 kg/m^3

Nous avons au total 28 pertuis, le volume total de béton nécessaire est donc égal à :

$$V_b = 14 \text{ m}^3$$

➤ La superficie totale du géotextile

Le polypropylène est vendu par rouleau de 2,5 mètres de large donc $2,5 \text{ m}^2/\text{ml}$. Cette bande couvre toute la largeur des diguettes.

Longueur totale des rouleaux en polypropylène tissé = longueur totale des diguettes Lt

$$L_p = 3 \text{ 109,84 m} ; \quad l_a = 1,6 \text{ m}$$

$$\text{Superficie totale du géotextile} = 4975,7 \text{ m}^2$$

Annexe 3 : Coût des mesures de protection des versants et des mesures d'atténuation des impacts de l'aménagement

a) Coût des mesures de protection des versants

L'option retenue est la réalisation de cordons pierreux suivant les courbes de niveau dans tous les champs exploités sur les versants. Les exploitants de ces espaces seront identifiés de préférence à travers leur groupement, sensibilisés et formés à la détermination des courbes de niveau avec le niveau à eau et à la mise en œuvre des cordons.

L'approvisionnement en moellons, diamètre 150 à 300 mm sera assuré dans sa composante assemblage par les exploitants et dans sa composante transport par le projet.

La formation des paysans sera assurée par trois techniciens du PABSO avec une prime de mission de 25 000 FCFA/jour, elle durera trois jours, un jour pour la théorie et 2 jours de pratique. Coût de la formation : 225 000 FCFA

Le transport se fera avec un camion benne, la superficie exploitée des versant a été estimée 40ha, il faudra 20 jours pour le transport des moellons. Le camion sera loué à : 50 000 jour, avec 20 000 F de carburant par jour. Le coût total du transport des moellons est donc de : 1 300 000 FCFA

Le coût total des mesures de protection des versant est estimé à : **1 525 000 FCFA**

b) Coût des mesures d'atténuation des impacts de l'aménagement

Compte tenu du fait que, dans l'ensemble l'aménagement aura un impact positif sur le village ; les mesures d'atténuation des impacts s'est limiter à des audiences de sensibilisation des exploitants et des villageois.

Cette formation sera assurée par 3 techniciens du PABSO, le chef ZATA de Tô et 2 deux agents de santé de Vara. La sensibilisation se fera en deux temps, une première phase de 2 jours et une deuxième phase de 1 jours pour évaluer la compréhension et l'acceptation de ces mesures par la population.

Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire (FCFA)	Prix Total (FCFA)
3 Techniciens PABSO	jour	3	25 000	225 000
1 Chef ZATA	Jour	3	15 000	45 000
1 Chauffeur	Jour	3	10 000	30 000
2 Agents de santé	Jour	3	15 000	90 000
Total	FCFA		390 000	

Annexe4 : recommandations de l'étude sociologique

- Une meilleure prise en compte des enjeux fonciers par la réunion des acteurs intervenant dans le bas-fond (maîtrises foncières) ; il s'agit de faire une identification précise des interlocuteurs du projet dans la détermination des droits fonciers ;
- Purger l'aire à aménager des droits fonciers traditionnels individuels en obtenant de chacun des propriétaires terriens ayant un domaine dans le bas-fond un accord formel. Un document est à élaborer à cet effet et qui inscrit outre les visas des propriétaires, la signature des conseillers communaux, de la chefferie de terre et de la commune ;
- Assurer le fonçage des puits existants et construire de nouveaux pour couvrir les besoins en eau des différentes cultures ;
- Augmenter la superficie du jardin maraîcher et la porter à 2 ha afin que les femmes soient beaucoup plus présentes dans la mise en valeur ;
- Des propositions de critères d'éligibilité aux parcelles suivantes devront être prises en compte par le projet d'aménagement :
 - Droits fonciers préexistants en distinguant les propriétaires des autres « utilisateurs »
 - Contribution en travail à la construction des ouvrages
 - Taille des ménages
 - Capacité à cultiver la terre
 - Domicile local
- Sensibiliser les exploitants sur les dispositions réglementaires (droits et obligations) en matière d'exploitation des petits aménagements hydro agricoles (PAHA) ;
- Restaurer le crédit d'embouche qui était alloué aux femmes ;

Annexe5 : Topographie

Calcul des coordonnées des points de la polygonale

points	Angle Horiz	Correction		GIS	L	DX	CX	X	DY	CY	Y
P4						-		566014			1266960
P1				261.358	138.1	113.4312	0	565900.57	-78.7716	0	1266881
P2	365.68	0.2447	34.5647	95.9227	446.36	445.4449	0.0027	566346.02	28.56807	0.0008	1266910
P3	372.22	0.2447	28.0247	323.947	96	89.28771	0.0006	566256.73	35.2662	0.0002	1266945
P4	220.279	0.2447	179.9657	303.913	243.19	242.7307	0.0015	566014	14.93871	0.0004	1266960
P1	242.8	0.2447	157.4447	261.358							
P1											

calcul retour

	X	DX	Y	DY	GIS	L
P4						
	566014		1266960	-		138.1
P1		-113.4312		78.7716	261.36	
	565900.57		1266881			446.3627
P2		445.4476		28.5673	95.923	
	566346.02		1266910			95.99939
P3		-89.28712		35.266	323.95	
	566256.73		1266945			243.1885
P4		-242.7292		14.9383	303.91	
	566014		1266960			

Coordonnée des points levés

N	X	Y	Z	N	X	Y	Z
1	565900.569	1266881.23	288.521	26	565769.517	1266925.94	287.991
2	566030.696	1266897.97	289.097	27	565805.441	1266932.68	287.913
3	566019.266	1266902.29	288.997	28	565809.46	1266899.64	288.421
4	566030.406	1266921.23	289.241	29	565843.944	1266889.04	288.485
5	566024.068	1266936.56	289.401	30	565864.035	1266908.37	288.371
6	565995.237	1266944.97	288.961	31	565890.758	1266904.94	288.448
7	565972.895	1266921	288.691	32	565884.189	1266874.93	288.587
8	565957.795	1266885.95	288.641	33	565962.399	1266803.17	288.831
9	565940.397	1266851.57	288.571	34	565981.321	1266828.49	288.821
10	565934.549	1266831	288.681	35	566002.965	1266860.97	288.841
11	565910.886	1266853.8	288.691	36	566054.281	1266860.53	289.011
12	565917.365	1266889.31	288.516	37	566058.296	1266852.24	288.982
13	565921.459	1266930.99	288.601	38	566066.014	1266857.28	289.151
14	565894.238	1266935.69	288.811	39	566060.264	1266857.9	289.761
15	565870.183	1266937.04	288.691	40	566060.141	1266843.36	289.011
16	565855.611	1266952.13	288.561	41	566078.632	1266874.78	289.284
17	565829.293	1266958.9	288.381	42	566109.494	1266858.85	289.241
18	565814.756	1266950.94	288.296	43	566085.167	1266825.35	289.131
19	565776.643	1266969.12	287.951	44	566069.202	1266789.68	289.138
20	565745.59	1266972.96	287.846	45	566044.63	1266767.65	289.221
21	565722.212	1266966.47	287.614	46	566028.885	1266739.17	289.231
22	565702.529	1266959.07	287.412	47	566066.038	1266714.39	289.385
23	565678.409	1266986.55	286.961	48	566093.497	1266747.07	289.389
24	565690.659	1266998.36	287.351	49	566125.971	1266784.22	289.35
25	565746.86	1266955.2	287.791	50	566171.017	1266825.6	289.511

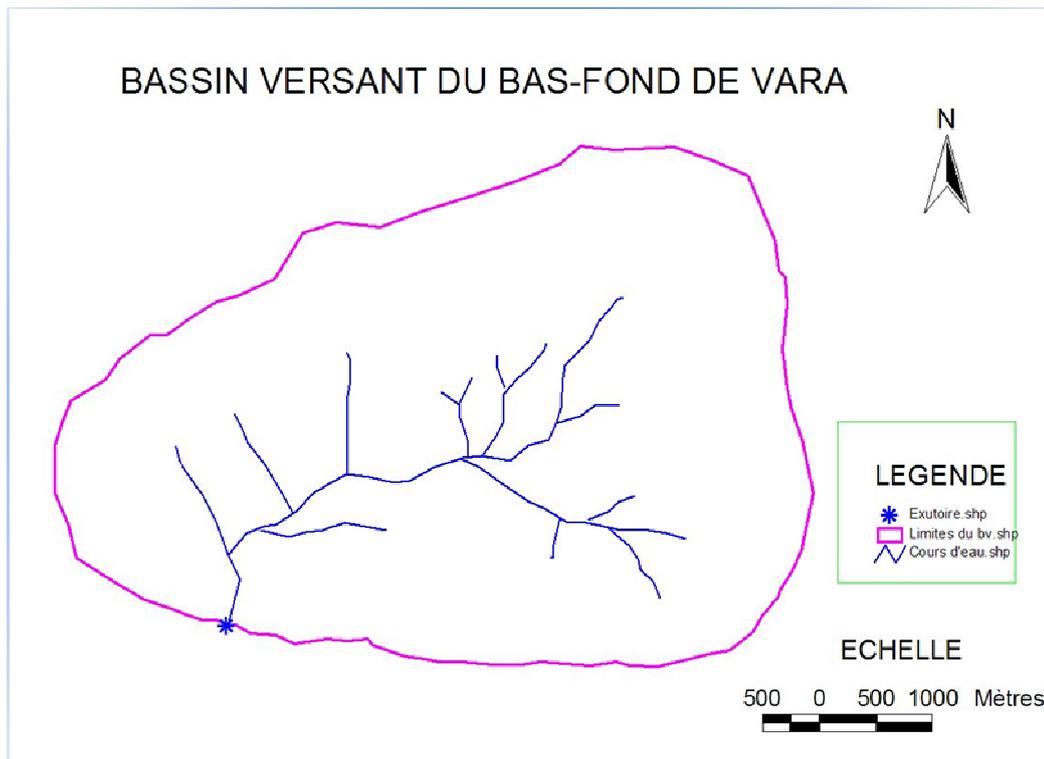
N	X	Y	Z	N	X	Y	Z
51	566185.263	1266821.51	289.781	76	566480.37	1266568	291.671
52	566211.237	1266806.11	289.67	77	566513.016	1266545.38	291.741
53	566186.617	1266782.68	289.511	78	566346.016	1266909.8	290.371
54	566184.354	1266796.2	289.491	79	566002.638	1267044.9	288.691
55	566178.507	1266785.57	289.241	80	566057.144	1267049.22	288.891
56	566168.48	1266790.52	289.571	81	566081.284	1266999.82	289.081
57	566174.658	1266776.07	289.551	82	566081.234	1266950.61	289.131
58	566157.992	1266747.34	289.552	83	566150.989	1266932.37	289.458
59	566132.706	1266693.49	289.582	84	566232.021	1266954.78	289.621
60	566180.844	1266679.52	289.871	85	566288.022	1266969.3	289.921
61	566195.968	1266707.58	289.831	86	566342.762	1266984.74	290.177
62	566214.713	1266738.95	289.771	87	566361.892	1266998.31	290.324
63	566240.202	1266784.68	289.941	88	566373.424	1267020.52	290.83
64	566260.693	1266768.25	289.961	89	566374.862	1267020.57	291.187
65	566270.304	1266758.7	290.001	90	566423.918	1267029.92	291.281
66	566258.502	1266749.8	290.211	91	566417.719	1267006.34	290.871
67	566244.438	1266717.61	290.024	92	566439.547	1266994.37	290.921
68	566225.145	1266692	290.013	93	566476.423	1266981.98	291
69	566207.396	1266662.96	290.061	94	566443.875	1266959.68	290.743
70	566245.901	1266634.51	290.261	95	566453.961	1266939.55	291.023
71	566273.995	1266612.75	290.381	96	566484.41	1266953.38	290.986
72	566307.784	1266587.68	290.771	97	566494.672	1266965.84	291.121
73	566346.301	1266558.21	291.336	98	566522.898	1266967.09	291.29
74	566386.364	1266541.94	291.271	99	566546.241	1266958.57	291.451
75	566450.875	1266556.45	291.711	100	566565.772	1266944.19	291.51

N	X	Y	Z	N	X	Y	Z
101	566586.186	1266938.84	291.731	126	566418.782	1266947.9	290.671
102	566568.839	1266902.56	291.661	127	566388.961	1266967.81	290.531
103	566588.039	1266872.56	291.688	128	566359.468	1266948.38	290.399
104	566610.244	1266853.88	291.681	129	566368.777	1266917.5	290.531
105	566588.905	1266855.51	291.571	130	566349.839	1266894.73	290.48
106	566575.824	1266842.14	291.531	131	566336.214	1266866.32	290.379
107	566569.544	1266826.22	291.538	132	566308.72	1266853.28	290.301
108	566548.971	1266846.25	291.445	133	566305.1	1266883.33	290.191
109	566546.358	1266870.18	291.461	134	566256.729	1266945.06	289.755
110	566517.414	1266858.05	291.381	135	566157.22	1266943.62	290.433
111	566486.264	1266843.56	291.341	136	566156.638	1266931.34	290.398
112	566488.682	1266858.82	291.327	137	566163.683	1266913.32	290.41
113	566484.025	1266876.58	291.158	138	566164.988	1266900.36	290.387
114	566511.529	1266883.11	291.461	139	566165.527	1266895.58	290.196
115	566523.732	1266916.95	291.351	140	566176.54	1266888.99	290.374
116	566489.302	1266936.97	291.08	141	566180.218	1266888.01	290.209
117	566471.726	1266906.6	291.141	142	566185.209	1266885.69	290.002
118	566456.503	1266886.58	291.021	143	566188.082	1266888.51	289.715
119	566431.05	1266850.2	291.02	144	566196.16	1266890.47	289.595
120	566418.782	1266853.96	291.061	145	566191.198	1266896.84	289.821
121	566392.725	1266858.22	290.773	146	566200.473	1266906.74	290.273
122	566372.47	1266852.13	290.689	147	566223.612	1266896.83	290.096
123	566391.871	1266889.15	290.621	148	566221.445	1266941.66	290.064
124	566407.934	1266909.22	290.731	149	566218.787	1266960.78	289.982
125	566422.697	1266919.24	290.771	150	566226.833	1266977.92	289.939

N	X	Y	Z	N	X	Y	Z
151	566251.79	1266971.83	289.797	176	566052.072	1267086.88	288.521
152	566271.628	1266971.23	289.68	177	566063.627	1267078.61	288.472
153	566288.481	1266972.63	289.599	178	566054.292	1267066.39	288.552
154	566293.505	1266954.06	289.569	179	566065.486	1267046.85	288.603
155	566292.247	1266924.82	289.666	180	566053.484	1267026.27	288.696
156	566324.745	1266930.39	289.538	181	566060.456	1267012.45	288.759
157	566326	1266952.12	289.458	182	566056.27	1266992.3	288.767
158	566321.924	1266976.5	289.466	183	566031.13	1266987.04	288.804
159	566309.553	1266997.24	289.481				
160	566293.751	1267006.72	289.565				
161	566323.81	1267010.55	289.385				
162	566345.852	1267016.39	289.395				
163	566369.777	1266997.39	289.305				
164	566379.672	1266975.55	289.223				
165	566412.65	1266964.76	289.147				
166	566419.034	1266946.35	289.279				
167	566432.847	1266970.39	289.232				
168	566431.511	1266993.58	288.965				
169	566431.692	1267010.1	289.015				
170	566469.03	1266996.23	289.002				
171	566014	1266960	289				
172	565860.165	1266853.28	289.548				
173	565874.484	1266865	289.6				
174	565983.487	1266983.44	288.927				
175	566010.042	1267003.66	288.822				

Annexe 6 : étude hydrologique

Bassin versant de Vara



➤ Superficie du bassin versant

La superficie du bassin versant a été calculée sur Arc View à partir de la feuille topographique de Léo. Nous avons eu à notre disposition un fichier numérique de la carte topographique sous format image que nous avons importé sur Arc View. La superficie a été calculée dans une vue projetée en UTM, zone 30 de Clark 1980, avec le script « calcaplave ». Elle est de 21,402 Km²

➤ Périmètre du bassin versant

le périmètre a été calculé sur Arc View avec le script « calcaplave ». Il est de 18 ,56 Km

➤ Indice de compacité de GRAVELIUS

Il renseigne sur l'état d'allongement du bassin versant et est déterminé par la formule suivante :

$$K_c = \frac{0,28P}{\sqrt{S}} \quad k_c = 1,09$$

Cette valeur de l'indice de compacité indique que le bassin est de forme arrondie.

➤ La longueur du rectangle équivalent

C'est le rectangle qui aurait la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin versant étudié. La longueur est donnée par la formule suivante :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4} \quad L = 5 \text{ Km}$$

➤ Indice global de pente

Il caractérise le relief du bassin versant et permet de définir la classe de ce relief, il est donné par le rapport $\Delta H = (H_{5\%} - H_{95\%})$ obtenu sur la courbe hypsométrique à la longueur du rectangle équivalent. Le calcul donne $I_g = 3,62$ d'où la classe du bassin versant est de R2 selon la classification ORSTOM. Ce résultat indique que le bassin versant est à faible pente (bassin de plaine)

➤ La densité de drainage

C'est le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la superficie du bassin versant elle donne une indication sur l'importance du ruissellement à travers le bassin versant. La longueur totale des cours d'eau drainant le bassin versant est $d = 16248,78\text{m}$.

Nous avons donc $D_d = \frac{d}{S} \quad D_d = 0,85$

➤ Coefficient de ruissellement décennal K_{r10}

Il a été déterminé à partir des coefficients de ruissellement $K_{r10} (P_{j10}=70\text{mm})$ et $K_{r10} (P_{j10}= 100\text{mm})$ qui s'obtiennent de façon empirique par la formule $K_{r10} = \frac{a}{S + b} + c$

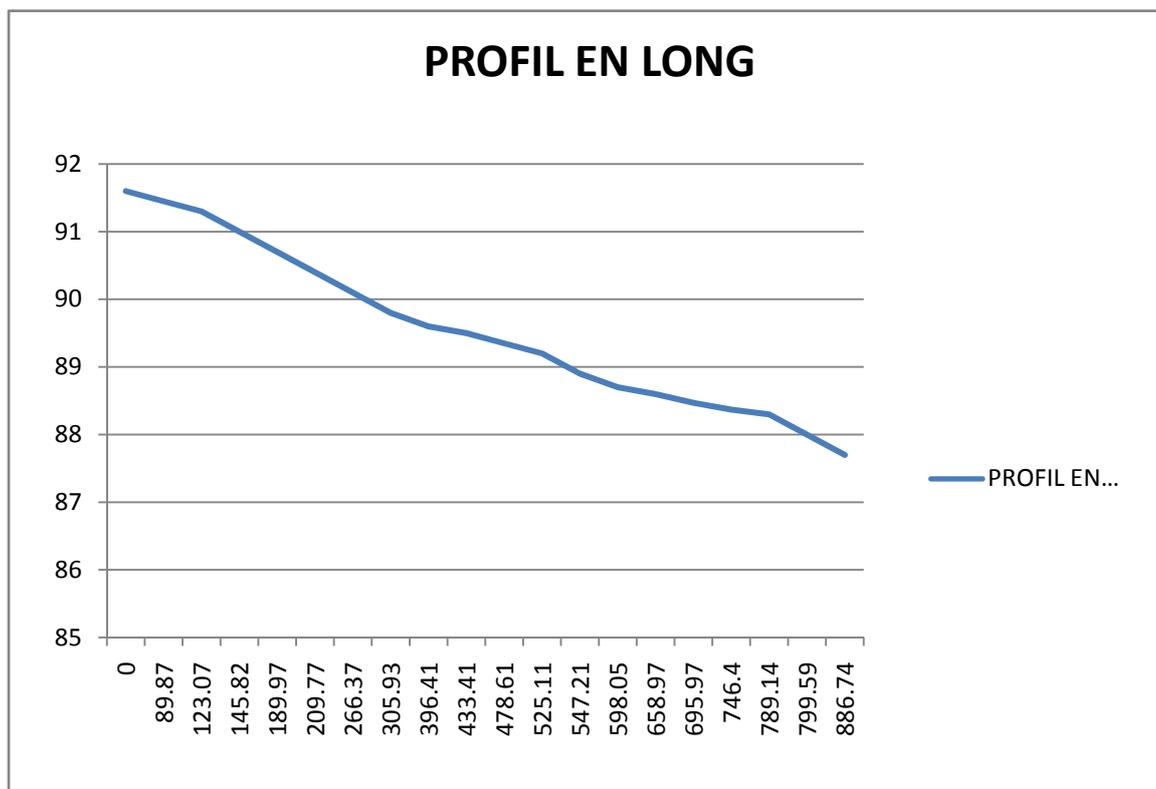
- S superficie du bassin versant
- a, b, c sont des caractéristiques du bassin versant et sont déterminées pour des pluies journalières décennales P_{j10} de 70mm et 100mm.

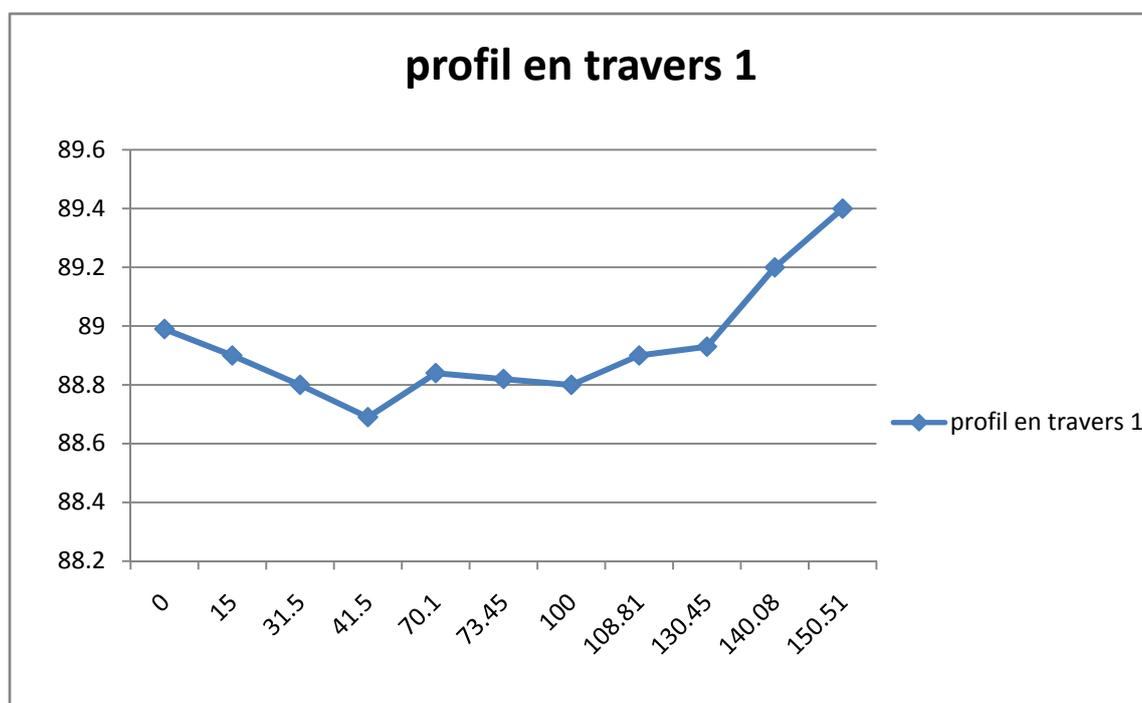
Le tableau suivant donne les valeurs empiriques correspondant aux pluies de 70mm et 100mm pour la valeur de I_g déterminée

Tableau 13: valeur de K_{r10}

I_g	$P_{j10}(mm)$	A	b	c	K_{r10}	
3	70	164	17	10.5	14.7696103	17.6902115
7	70	239	17.7	14.5	20.6108128	
3	100	250	20	12	18.0370433	20.1407476
7	100	300	20	15	22.244452	

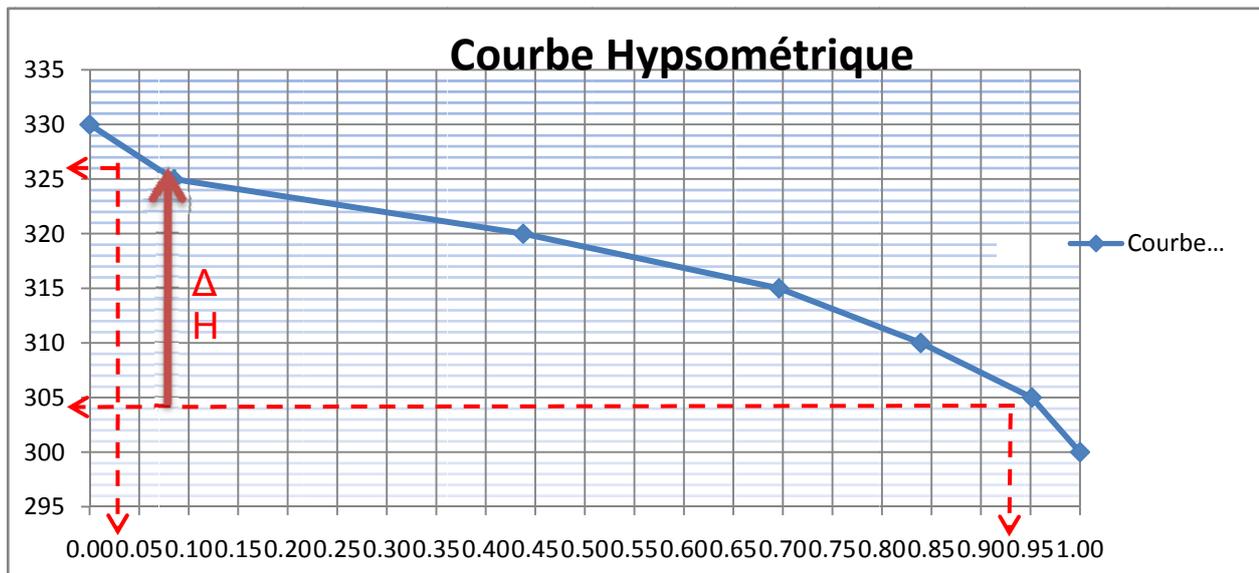
Par interpolation de K_{r70} et K_{r100} nous obtenons le coefficient de ruissellement correspondant à notre bassin de pluie journalière décennale de 108mm égale à $K_{r10} = 20.75$





Données pour le tracé de la courbe hypsométrique

Altitude	superficie	% Superficie au dessus Altitude
300	0	1.00
305	1.0405782	0.95
310	3.44154	0.84
315	6.50873	0.70
320	12.03626	0.44
325	19.6	0.08
330	21.411	0.00

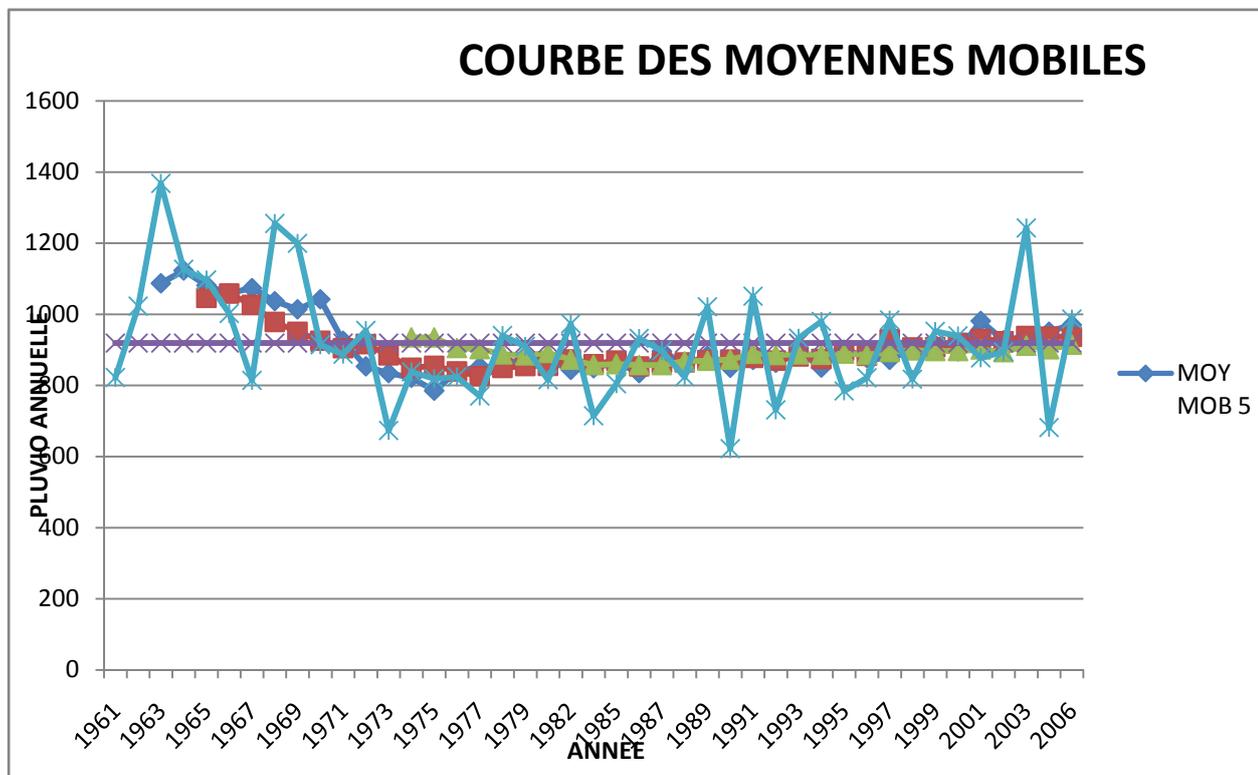


Pluviométrie annuelle et journalière de Boura sur 45 ans

Année	Pluvio Jrnalière max	pluie annuelle
1961	123.3	822.1
1962	62	1022.8
1963	162	13368.1
1964	87.2	1126.4
1965	81.7	1096.7
1966	60.5	1002.2
1967	68.8	814.2
1968	90.3	1255.5
1969	78.2	1199.4
1970	66.3	914.1
1971	65.7	887.5
1972	62.9	954.5
1973	49.9	673.2
1974	41.2	838.4
1975	43.5	818.8
1976	46.7	824
1977	74.9	770
1978	69.4	940.3
1979	70	909.6
1980	60	815.8
1982	59.7	973.4
1983	58	0
1984	48.6	714.5
1985	52.3	804.7
1986	82	932.2
1987	60.6	897.6
1988	56.3	823.8
1989	136	1021.2
1990	53.5	621.9
1991	69.1	1050.9
1992	85	731.2
1993	56	932.9
1994	64.5	979.9
1995	55.5	784.3
1996	68.5	821.3
1997	62.1	983.9
1998	98.2	817.5
1999	88	952.2
2000	76.5	939.2
2001	80	877.1
2002	72	894.2
2003	73.8	1242.9
2004	115.6	0
2005	78	681.4
2006	69.3	986.7

Méthode de la moyenne mobile : poste de BOURA

<i>année</i>	<i>Pluie annuelle</i>	<i>Moy. Mob. 5 ans</i>	<i>Moy. Mob. 11 ans</i>	<i>Moy. Mob. 25 ans</i>	<i>Moy Annuelle</i>
1961	822.1				919.1
1962	1022.8				919.1
1963	1368.1	1087.2			919.1
1964	1126.4	1123.2			919.1
1965	1096.7	1081.5	1046.3		919.1
1966	1002.2	1059.0	1058.3		919.1
1967	814.2	1073.6	1026.5		919.1
1968	1255.5	1037.1	978.4		919.1
1969	1199.4	1014.1	950.4		919.1
1970	914.1	1042.2	925.6		919.1
1971	887.5	925.7	904.5		919.1
1972	954.5	853.5	916.0		919.1
1973	673.2	834.5	884.5		919.1
1974	838.4	821.8	849.7	935.1	919.1
1975	818.8	784.9	855.0	935.0	919.1
1976	824	838.3	839.3	905.2	919.1
1977	770	852.5	825.7	902.2	919.1
1978	940.3	851.9	849.2	887.6	919.1
1979	909.6	881.8	854.6	884.8	919.1
1980	815.8	870.7	855.1	891.4	919.1
1982	973.4	843.6	873.0	872.6	919.1
1984	714.5	848.1	859.5	857.4	919.1
1985	804.7	864.5	869.6	860.2	919.1
1986	932.2	834.6	853.4	857.4	919.1
1987	897.6	895.9	864.0	857.3	919.1
1988	823.8	859.3	864.6	868.0	919.1
1989	1021.2	883.1	871.0	869.5	919.1
1990	621.9	849.8	872.5	872.5	919.1
1991	1050.9	871.6	877.2	889.3	919.1
1992	731.2	863.4	869.9	885.8	919.1
1993	932.9	895.8	881.6	887.6	919.1
1994	979.9	849.9	874.1	886.7	919.1
1995	784.3	900.5	897.3	889.8	919.1
1996	821.3	877.4	883.1	886.0	919.1
1997	983.9	871.8	929.6	894.1	919.1
1998	817.5	902.8	906.7	898.6	919.1
1999	952.2	914.0	907.3	896.8	919.1
2000	939.2	896.0	919.6	896.8	919.1
2001	877.1	981.1	930.6	901.1	919.1
2002	894.2	927.0	923.9	893.6	919.1
2003	1242.9	936.5	939.1	911.7	919.1
2005	681.4	951.3	936.9	901.8	919.1
2006	986.7	970.3	936.5	914.9	919.1



AJUSTEMENT DE LA PLUIE ANNUELLE DE BOURA PAR LA LOI NORMALE

<i>Moyenne</i>	<i>919.0348837</i>	<i>919.1</i>
<i>Variance</i>	<i>25312.81</i>	
<i>Ecart-Type</i>	<i>159.0680655</i>	<i>159.1</i>

<i>année</i>	<i>Pluie annuelle</i>	<i>Rang</i>	<i>F(x_i)</i>		<i>U_i(GAUSS)</i>
1961	621.9	1	0.0116	1%	-2.269
1962	673.2	2	0.0349	3%	-1.813
1963	681.4	3	0.0581	6%	-1.571
1964	714.5	4	0.0814	8%	-1.396
1965	731.2	5	0.1047	10%	-1.255
1966	770	6	0.1279	13%	-1.136
1967	784.3	7	0.1512	15%	-1.031
1968	804.7	8	0.1744	17%	-0.937
1969	814.2	9	0.1977	20%	-0.850
1970	815.8	10	0.2209	22%	-0.769
1971	817.5	11	0.2442	24%	-0.693
1972	818.8	12	0.2674	27%	-0.621
1973	821.3	13	0.2907	29%	-0.551
1974	822.1	14	0.3140	31%	-0.485
1975	823.8	15	0.3372	34%	-0.420
1976	824	16	0.3605	36%	-0.357
1977	838.4	17	0.3837	38%	-0.296
1978	877.1	18	0.4070	41%	-0.235
1979	887.5	19	0.4302	43%	-0.176
1980	894.2	20	0.4535	45%	-0.117
1982	897.6	21	0.4767	48%	-0.058
1984	909.6	22	0.5000	50%	0.000
1985	914.1	23	0.5233	52%	0.058
1986	932.2	24	0.5465	55%	0.117
1987	932.9	25	0.5698	57%	0.176
1988	939.2	26	0.5930	59%	0.235
1989	940.3	27	0.6163	62%	0.296
1990	952.2	28	0.6395	64%	0.357
1991	954.5	29	0.6628	66%	0.420
1992	973.4	30	0.6860	69%	0.485
1993	979.9	31	0.7093	71%	0.551
1994	983.9	32	0.7326	73%	0.621
1995	986.7	33	0.7558	76%	0.693
1996	1002.2	34	0.7791	78%	0.769
1997	1021.2	35	0.8023	80%	0.850
1998	1022.8	36	0.8256	83%	0.937
1999	1050.9	37	0.8488	85%	1.031
2000	1096.7	38	0.8721	87%	1.136
2001	1126.4	39	0.8953	90%	1.255
2002	1199.4	40	0.9186	92%	1.396
2003	1242.9	41	0.9419	94%	1.571
2005	1255.5	42	0.9651	97%	1.813
2006	1368.1	43	0.9884	99%	2.269

CALCUL DES COORDONNEES DES A_i ET B_i DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE

$F(x_i)$	0.02	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.98
$u_{i(GAUSS)}$	-2.05374891	-1.2815516	-0.8416212	0	0.84162123	1.28155157	2.05374891
$m+\sigma u_i$	592.348548	715.205146	785.198062	919.1	1053.00194	1122.99485	1245.85145
$\beta(F(x_i))$	2.92	1.76	1.43	1.25	1.43	1.76	2.92
$C_i B_i$	90.6836042	54.6586108	44.4101213	38.8200361	44.4101213	54.6586108	90.6836042
A_i	683.032153	769.863757	829.608183	957.920036	1097.41206	1177.65346	1336.53506
B_i	501.664944	660.546535	740.78794	880.279964	1008.59182	1068.33624	1155.16785

AJUSTEMENT DE LA PLUIE JOURNALIERE DE BOURA PAR LA LOI DE GUMBEL

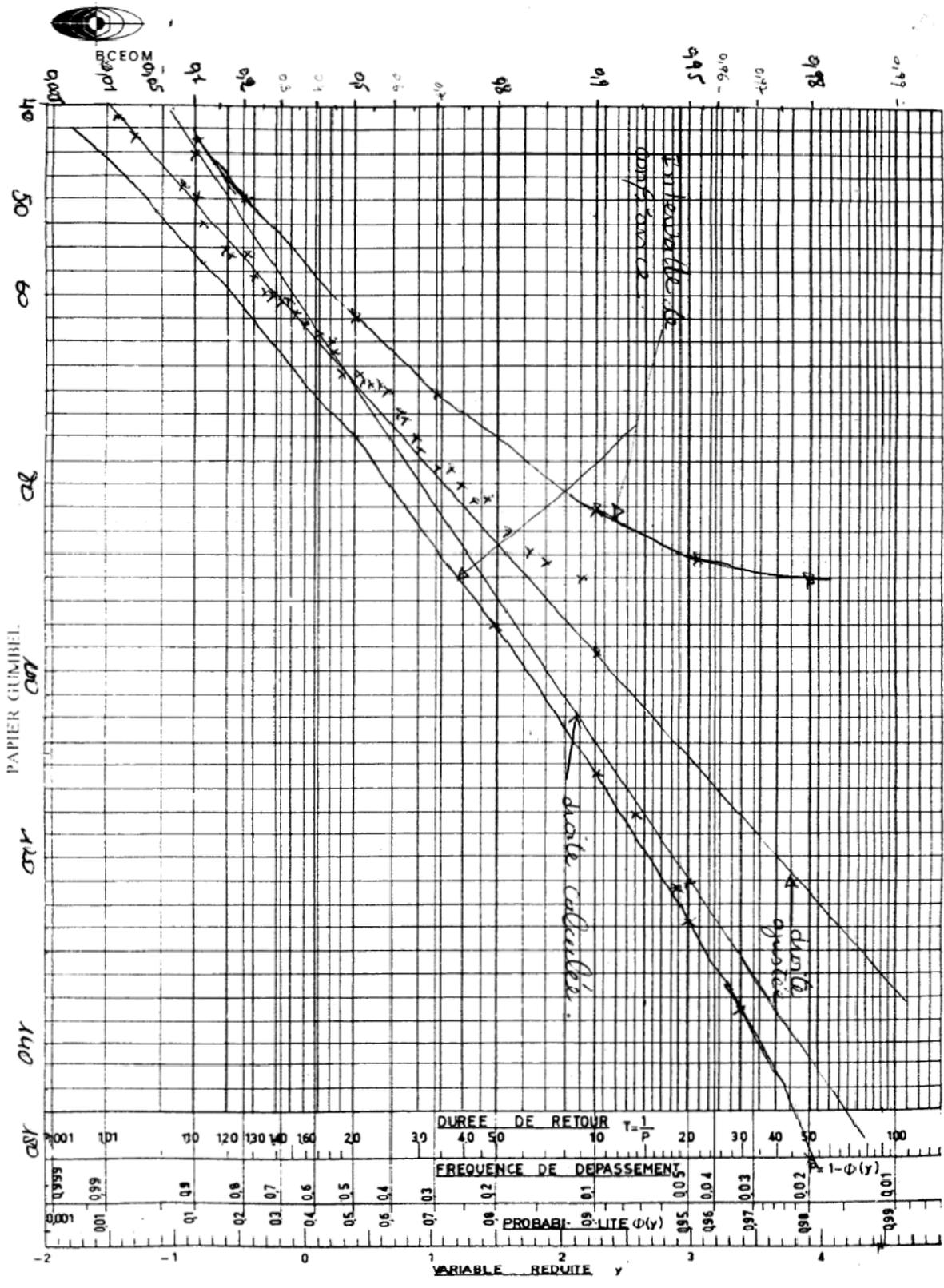
<i>Moyenne</i>	72.96888889	72.968
<i>Variance</i>	565.4884	
<i>Ecart-Type</i>	23.78021353	23.78

<i>année</i>	<i>Pluie Journalière</i>	<i>Rang</i>	<i>F(x_i)</i>		<i>u_i(Gumbel)</i>
1961	41.2	1	0.0111	1%	-1.504
1962	43.5	2	0.0333	3%	-1.224
1963	46.7	3	0.0556	6%	-1.061
1964	48.6	4	0.0778	8%	-0.938
1965	49.9	5	0.1000	10%	-0.834
1966	52.3	6	0.1222	12%	-0.743
1967	53.5	7	0.1444	14%	-0.660
1968	55.5	8	0.1667	17%	-0.583
1969	56	9	0.1889	19%	-0.511
1970	56.3	10	0.2111	21%	-0.442
1971	58	11	0.2333	23%	-0.375
1972	59.7	12	0.2556	26%	-0.311
1973	60	13	0.2778	28%	-0.248
1974	60.5	14	0.3000	30%	-0.186
1975	60.6	15	0.3222	32%	-0.124
1976	62	16	0.3444	34%	-0.064
1977	62.1	17	0.3667	37%	-0.003
1978	62.9	18	0.3889	39%	0.057
1979	64.5	19	0.4111	41%	0.118
1980	65.7	20	0.4333	43%	0.179
1982	66.3	21	0.4556	46%	0.240
1983	68.5	22	0.4778	48%	0.303
1984	68.8	23	0.5000	50%	0.367
1985	69.1	24	0.5222	52%	0.431
1986	69.3	25	0.5444	54%	0.498
1987	69.4	26	0.5667	57%	0.566
1988	70	27	0.5889	59%	0.636
1989	72	28	0.6111	61%	0.708
1990	73.8	29	0.6333	63%	0.784
1991	74.9	30	0.6556	66%	0.862
1992	76.5	31	0.6778	68%	0.944
1993	78	32	0.7000	70%	1.031
1994	78.2	33	0.7222	72%	1.123
1995	80	34	0.7444	74%	1.220
1996	81.7	35	0.7667	77%	1.325
1997	82	36	0.7889	79%	1.439
1998	85	37	0.8111	81%	1.564
1999	87.2	38	0.8333	83%	1.702
2000	88	39	0.8556	86%	1.858
2001	90.3	40	0.8778	88%	2.037
2002	98.2	41	0.9000	90%	2.250
2003	115.6	42	0.9222	92%	2.514
2004	123.3	43	0.9444	94%	2.862
2005	136	44	0.9667	97%	3.384
2006	162	45	0.9889	99%	4.494

CALCUL DES COORDONNEES DES A_i ET B_i DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE

$F(x_i)$	0.1	0.2	0.5	0.7	0.8	0.9	0.95	0.98
$u_{i(GUMBEL)}$	-	-	-	-	-	-	-	-
$u_{i(GUMBEL)}$	0.83403245	-0.475885	0.36651292	1.03093043	1.49993999	2.25036733	2.97019525	3.90193866
$m+\sigma u_i$	50.4935996	55.9069983	68.6398428	78.6825135	85.7715929	97.1143022	107.994501	122.077803
$\beta(F(x_i))$	1.3	1.24	1.44	1.84	2.24	3.16	4.46	7.08
$C_i B_i$	5.8987354	5.62648607	6.53398383	8.34897933	10.1639748	14.3384645	20.2371999	32.1254205
A_i	56.392335	61.5334844	75.1738266	87.0314928	95.9355677	111.452767	128.231701	154.203223
B_i	44.5948642	50.2805122	62.105859	70.3335342	75.6076181	82.7758376	87.7573013	89.9523823

PAPIER GUMBEL



PAPIER GAUSS

