



**EVALUATION DES PERFORMANCES DU MODELE
TYPE DIGUES EN COURBES DE NIVEAU
AMELIOREES (DCN+) DU BAS-FOND DE
KANKANIBA DANS LA REGION DU SUD-OUEST
DU BURKINA FASO.**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER**

SPECIALITE INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le 03/07/2020 par

Dje N'dakwa Johanne Cyrille N'DA (20160417)

Directeur de mémoire : Hama YACOUBA, professeur Titulaire à 2IE

Encadrant 2iE : Bassirou BOUBE enseignant chercheur

Encadrants externes :

**Dr Aïssata Delphine NATI / BAMA chargée de recherche en Hydraulique
agricole à l'INERA**

Jean-Louis FUSILLER, chercheur au CIRAD

Guillaume LACOMBE chercheur au CIRAD

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Prof. Yacouba HAMA

Membres et correcteurs : Dr. Amadou KEITA

Mr Amadou SIMAL

Promotion [2019/2020]

DEDICACE

- ❖ A ma mère qui m'a toujours soutenu envers et contre tous, durant tout mon cursus scolaire, dans ma décision de quitter l'université pour 2iE.
- ❖ A mon père pour tous ses encouragements.
- ❖ A ma sœur pour son amour et son soutien.

Je vous aime.

CITATION

« L'eau est la cause matérielle de toutes choses. »

Thales de Millet.

REMERCIEMENTS

Je tenais à adresser mes vifs remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce document :

- A la direction de l'institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2IE) de m'avoir permis d'être compté dans l'effectif de la promotion 2019-2020.

Mes sincères remerciements à :

- Mr Hama YACOUBA pour ses directives dans la rédaction de ce mémoire.
- Monsieur BOUBE Bassirou pour sa disponibilité et ses explications.
- A l'INERA au travers de Madame BAMA NATI Aissata Delphine pour la confiance accordée en me confiant les activités du ce projet WAGRINOVA sur le hub bas-fond dans le Sud-Ouest.
- A Monsieur Amadou Keita pour ses explications
- A Monsieur Korodjouma OUATTARA Directeur du CREAM de Kamboinsé
- A Messieurs Jean-Louis FUSILLER et Mr Guillaume LACOMBE pour le soutien et tous les efforts consentis pour la réussite du projet, et surtout pour le modèle hydraulique mis à ma disposition que j'ai adapté au contexte de Kankaniba.
- A Messieurs Georges SERPENTIER et Herman HIEN pour leurs encouragements.
- A Monsieur Samba OUEDRAOGO, technicien de l'INERA.
- Aux agriculteurs et à toute l'équipe sur le terrain pour leur collaboration pour la réussite de ce projet.
- A Tous mes camarades de promotion pour tous les bons moments passés ensemble.

RESUME

Cette étude vise à évaluer les performances hydrauliques de l'aménagement de Kankaniba un aménagement au modèle DCN+ ou se cultive essentiellement le riz pluvial. Il faut entendre par évaluation des performances, l'étude de la capacité des pertuis à évacuer les eaux du bas-fond en cas de crue selon les critères recommandés par le PAFR, à savoir : vidanger une crue décennale en 72 heures maximum avec un débit de débordement au-dessus des digues ne dépassant pas les 40l/s/ml de la digue pour une hauteur maximale de débordement fixée à 10 cm. La méthodologie a consisté dans un premier temps à faire tourner un modèle expérimental de simulation afin de vérifier les précédents critères. Parallèlement une analyse des rendements de 28 parcelles a été faite pour évaluer l'impact de la lame d'eau sur les plantes ainsi qu'une enquête sur les règles de gestion de l'aménagement auprès des agriculteurs afin de déceler les pratiques nuisibles au bon fonctionnement du bas-fond.

L'analyse de la configuration du bas-fond révèle un bas-fond allongé qui a pour effet de concentrer les eaux dans la partie aval du bas-fond et ralentir les écoulements dans tout le bas-fond.

Le modèle quant à lui montre que l'aménagement est capable de vidanger les eaux du bas-fond en moins de 72 heures malgré des hauteurs et des débits de déversement au-dessus des digues très élevés qui peuvent être expliqués par des remontées de la nappe hypodermique.

Le suivie des parcelles nous a ensuite permis de déceler l'effet néfaste de l'état hydrique du bas-fond sur les cultures. En effet, l'aval étant la zone la plus engorgée, on a en moyenne 0,51 tonnes/hectare, tandis qu'à l'amont et au milieu les rendements sont respectivement de 0,95 tonnes/hectare et 1,26 tonnes/hectare.

Cependant, au travers des enquêtes, on constate que les paysans sont en partie responsable des difficultés de l'aménagement. A titre d'exemple, la plupart des paysans n'ouvrent pas les vannes juste après une crue.

Mots clés : DCN+, hypodermique, bas-fond, crue, modèle.

ABSTRACT

This study aims to assess the hydraulic performance of the Kankaniba development, that is to say, the study of the capacity of the leaks to evacuate the waters of the valley bottom in the event of a flood according to the criteria recommended by the PAFR, namely: drain a ten-year flood in 72 hours maximum with an overflow rate above the dikes not exceeding 40l / s / ml of the dike for a maximum overflow height set at 10 cm. The methodology initially consisted in running an experimental simulation model in order to verify the previous criteria. At the same time, an analysis of the yields of 28 plots was made to assess the impact of the water slide on the plants as well as a survey on the management rules of the management with farmers in order to detect practices harmful to good bottomland operation.

Analysis of the configuration of the valley bottom reveals an elongated shallow which has the effect of concentrating the waters in the downstream part of the valley bottom and slowing the flows throughout the valley bottom.

The model shows that the development is capable of draining the waters of the valley bottom in less than 72 hours despite the heights and discharge rate above the very high dikes which can be explained by rising water levels hypodermic.

The monitoring of the plots then allowed us to detect the harmful effect of the water level in the valley bottom on the crops. Indeed, downstream being the most congested area, there is on average 0.51 tonnes / hectare, while upstream and in the middle the yields are respectively 0.95 tonnes / hectare and 1.26 tonnes /hectare.

However, through surveys, we find that the farmers are partly responsible for the planning difficulties. For example, most farmers do not open the gates immediately after a flood.

Keywords : DCN +, hypodermic, valley bottom, flood, model.

SIGLE ET ABREVIATION

ANOVA : Analyse de la Variance

CIRAD : Centre Intégré de Recherche Agricole et de Développement

DCN : Digue en Courbe de Niveau.

DIAPRA : Diagnostic Rapide Hydraulique de Pré-aménagement

ET0 : Evapotranspiration de Référence.

ETM : Evapotranspiration Maximale.

IDF : Intensité, Durée, Fréquence.

INERA : Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agronomique

IRD : Institut de Recherche et de Développement.

Kc : Coefficient Cultural.

MNT : Model Numérique de Terrain.

PABSO : Programme d'Aménagement de Bas-fond dans le Sud-Ouest et la Sissili

PAFR : Programme d'Appui à la Filière Rizicole

TN : Terrain Naturel.

WAGRINNOVA : Co-construction with Innovation Actors to Strengthen Sustainable Intensification, Resilience, Food and Nutritional Security in Water-managed Agrosystems in West Africa

WASCAL : West African Science Service Center On Climate Change And Adapted Land Use

SOMMAIRE

DEDICACE	I
CITATION.....	II
REMERCIEMENTS.....	III
RESUME.....	IV
ABSTRACT	V
SIGLE ET ABREVIATION	VI
I. INTRODUCTION.....	7
1. Contexte et problématique.....	7
1.1.1. Diagnostic rapide et caractérisation sommaire du site de Kankaniba	7
2. Objectif de l'étude et hypothèses de travail	8
II. MATERIEL ET METHODES	10
1. PRESENTATION ET LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	10
1.1. Localisation de la zone d'étude	10
1.2. Climat.....	10
1.3. Les sols.....	11
1.4. Relief et hydrographie de la zone d'étude.....	12
2. Matériel	13
2.1. Les instruments présents sur le site	13
2.1.1. Des limnimètres :.....	13
2.1.2. Des Piézomètres	14
2.1.3. Un Baromètre	14
2.1.4. Des pluviomètres.....	14
3. Méthodes	16
3.1. SIG de l'aménagement et des instruments associé à l'étude.....	17
3.2. Données Piézométriques, limnimétriques et climatiques.....	17
Les données des enregistreurs de pression et des pluviomètres étaient régulièrement téléchargées via l'utilitaire HOBOWare sur l'ordinateur. (Figure 12).	17
3.3. Mesures De Débits	18
3.4. Caractérisations hydrologiques du bassin versant.....	20
4. Enquêtes sur les règles de gestion	21
5. Difficultés rencontrées dans la collecte des données.....	22
6. PRESENTATION DU MODELE.....	22
6.1. Les variables et leurs Expressions.....	25
a. La pluie.....	25
b. ETM	25

c.	L'évaporation	25
d.	La pente longitudinale	25
f.	Qdeversement le debit de deversement	26
g.	VStocké Le volume stocke dans l'inter-diguette.	27
h.	le debit de sortie Qs Dans l'inter diguette	28
6.2.	Les Hypothèses et limites du modèle	29
6.3.	Support de modélisation	29
6.4.	Evaluation des performances du modèle	30
III.	RESULTATS ET DISCUSSION	31
1.	Configuration de l'aménagement	31
2.	Analyse des données hydrauliques du bas-fond de Kankaniba	32
2.1.1.	La limnimétrie	32
2.1.2.	La piézométrie	34
3.	Simulation de crues sur le bas-fond de Kankaniba.....	35
3.1.	Simulation de La crue du 23 juillet 2019	35
3.1.1.	Commentaire sur les performances du modèle.....	36
3.2.	Simulation pour une crue décennale humide.....	37
4.	Impact de l'aménagement sur la culture du riz dans le bas-fond de Kankaniba	39
5.	Les pratiques et règles de gestion de l'aménagement par les paysans	41
5.1.	Statistique descriptive et analyse des écarts	41
5.1.1.	Organisation des paysans	41
5.1.2.	La gestion de l'aménagement.....	42
5.1.3.	Réactions face aux crues	43
5.2.	Analyse de la variance à un facteur	44
5.3.	D'autres mauvaises pratiques constatées dans le bas-fond	45
IV.	CONCLUSION	46
V.	RECOMMANDATIONS	48
VI.	BIBLIOGRAPHIE	49
VII.	ANNEXES	50

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau I : caractéristiques des DCN+ Kankaniba.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau II : résultats du calcul des critères.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau III : rendement des parcelles suivis.....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau IV : classification des parcelles par zone.....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau V : Résultat de l'ANOVA.....</i>	<i>45</i>

LISTE DES FIGURES

Figure 4 : (a) pertuis de vidange, (b) DCN+ du bas-fond de Kankaniba.....	8
Figure 5 : localisation de la zone d'étude.....	10
Figure 6 : le réseau hydrographique et l'hypsométrie du bassin versant.....	12
Figure 7 : illustration et schéma d'installation des limnimètres du bas-fond de Kankaniba	13
Figure 8 : illustration et schéma d'installation des piézomètres du bas-fond de Kankaniba	14
Figure 9 : Illustration du baromètre de Kankaniba.....	14
Figure 10 : illustration des pluviomètres de la zone d'étude ((a) : pluviomètre de Kankaniba ; (b) : pluviomètre de Gagnou	15
Figure 11 : Dispositif d'expérimentation.....	15
Figure 12 : Diagramme illustrant la méthodologie utilisée.....	17
Figure 13 : (a) pluviomètre ; (b) retrait de la sonde Dun limnimètre ; (c) transfert des données du limnimètre	17
Figure 14 : (a) mesure manuelle du niveau de l'eau au piézomètre 1 ;(b) mesure manuelle du niveau de l'eau au limnimètre 3 ; (c) sonde manuelle	18
Figure 15 : Coupe transversale de la section mouillée.....	19
Figure 16 : (Vue du dessus) illustration de la méthode du flotteur.....	19
Figure 17 : (a) jaugeage au limnimètre 6. (b) jaugeage à l'exutoire	20
Figure 19 : Courbes IDF de la ville de Ouagadougou (source : www.iedafrique.org/Courbes-IDF-un-outil-d-aide-au-dimensionnement-d-ouvrages-hydrauliques-a.html	21
Figure 20 : Entretien avec une productrice du bas-fond de Kankaniba.....	21
Figure 21 : schéma conceptuelle du modèle	23
Figure 22 : illustration du fonctionnement du modèle	24
Figure 23 : vanne de vidange en dénoyé.....	26
Figure 24 : Illustration du cas 1	27
Figure 25 : illustration du cas 2.....	28
Figure 26 : présentation du bas-fond de Kankaniba et des instruments présents sur le site	31
Figure 29 : (a) pertuis recouvert de moustiquaire (b) moustiquaire infestée d'algues et de mousses ralentissant le mouvement de l'eau (c) : brèche ouverte dans une digue par un paysan.....	45

LISTE DES GRAPHIQUES

<i>Graphique 1 : diagramme climatique de la commune d'Oronkua entre 1970 et 2000 (Source : http://www.hydrosciences.fr/sierem/).....</i>	<i>11</i>
<i>Graphique 4 : Graphique comparé des hauteurs piézométriques enregistrée.....</i>	<i>35</i>
<i>Graphique 5 : lames d'eau observées pour les limnimètres L2, L3, L4.....</i>	<i>35</i>
<i>Graphique 6 : lames d'eau simulées pour les limnimètres L2, L3, L4.....</i>	<i>36</i>
<i>Graphique 10 lame d'eau simulée pour les blocs à l'amont.....</i>	<i>37</i>
<i>Graphique 11 : lame d'eau simulée pour les blocs du milieu.....</i>	<i>38</i>
<i>Graphique 12 : lame d'eau simulée pour les blocs à l'aval.....</i>	<i>38</i>
<i>Graphique 15 : avis de enquêtés sur l'existence de l'association et leur participation aux activités de celle-ci</i>	<i>41</i>
<i>Graphique 16 : avis des enquêtes sur l'existence d'un comité de gestion de l'eau</i>	<i>42</i>
<i>Graphique 17 : avis des enquêtes sur le responsable de la gestion des pertuis.....</i>	<i>42</i>
<i>Graphique 18 : avis des enquêtes sur les critères d'ouverture des pertuis.....</i>	<i>42</i>
<i>Graphique 19 : avis des enquêtes sur les critères de fermeture des pertuis</i>	<i>42</i>
<i>Graphique 20 : avis des enquêtes sur la synchronisation des actions d'ouvertures et de fermetures de tous les pertuis sur le bas-fond.....</i>	<i>43</i>
<i>Graphique 21 : réaction face aux crues.....</i>	<i>43</i>
<i>Graphique 22 : Avis sur la participation aux activités de l'association selon leurs réactions aux crues</i>	<i>43</i>
<i>Graphique 23 : impact de la réaction face aux crues sur le rendement selon la position dans le bas-fond des 28 parcelles</i>	<i>44</i>

LISTE DES ANNEXES

<i>ANNEXE 1 : Pluies maximales journalières de 1986 à 2016 de la station de la météo national de Gaoua</i> ..	51
<i>ANNEXE 2: Pluies journalières, Bilan climatique et Evaporation lac</i>	52
<i>ANNEXE 3 : Illustration du découpage du bas-fond de Kankaniba en 12 différents blocs (surfaces interdiguettes)</i>	73
<i>ANNEXE 4: Distribution des parcelles suivies dans le bas-fond de Kankaniba</i>	74
<i>ANNEXE 5 : Note de calculs pour l'estimation des crues par la méthode d'OSTORM</i>	75
<i>ANNEXE 6: Rendements des parcelles suivies</i>	78
<i>ANNEXE 7: Enquêtes sur les règles de gestion de l'aménagement par les paysans</i>	79

I. INTRODUCTION

1. Contexte et problématique

Le riz occupe la quatrième place parmi les céréales cultivées au Burkina Faso, tant du point de vue des superficies, de la production que de la consommation annuelle par tête. La production de riz a connu une croissance spectaculaire à partir de 2008 en passant de 195 102 tonnes en 2008 à 305 382 tonnes en 2014 (FAO, 2012). Ce constat s'avère étonnant, en effet, cette culture est gourmande en eau et la très forte variabilité de la pluviométrie tant spatiale que temporelle et les épisodes de sécheresses notamment dans les régions où se cultivent le riz, ne permettent à cette culture d'exprimer tout son potentiel.

Dans ce contexte climatique, la maîtrise de l'eau et la conservation des sols représentent un objectif prioritaire pour le Burkina Faso (M.MIETTON). Ainsi plusieurs initiatives voient le jour dans le but d'une maîtrise totale ou partielle de l'eau notamment dans les bas-fonds où se pratique généralement cette culture. C'est le cas du projet WAGRINNOVA (co-construction avec les acteurs d'innovations pour renforcer l'intensification durable, la résilience, la sécurité alimentaire et nutritionnelle dans les agrosystèmes à maîtrise d'eau en Afrique de l'ouest) qui étudie les ouvrages hydrauliques et aménagements hydroagricoles existant dans le but de mieux maîtriser l'eau et permettre une intensification de la riziculture.

Le modèle le plus courant dans la région où se situe notre zone d'étude est celui des Diguettes en Courbes de Niveaux revêtues avec perrés et pertuis (DCN+). Cependant, des questions se posent sur l'adaptation de ce modèle à différentes configurations de bas-fonds et le niveau de fonctionnalité atteint, c'est-à-dire la capacité des ouvrages à évacuer des crues, à conserver une lame d'eau pour lutter contre les poches de sécheresse ou la sécheresse de fin de cycle. On observe notamment sur de nombreux sites des problèmes d'engorgement des parcelles qui questionnent la pertinence du modèle DCN+.

Ce mémoire vise donc à évaluer le modèle d'aménagement DCN+ en étudiant un site pilote du Projet Wagrinnova : le bas-fond de Kankaniba dans la commune d'Oronkua.

1.1.1. Diagnostic rapide et caractérisation sommaire du site de Kankaniba

Le bas-fond de Kankaniba a été aménagé en 2009 dans le cadre du programme PABSO (programme d'aménagement de bas-fond dans le sud-ouest et la Sissili). C'est un aménagement d'environ 45 ha de bas-fond aménagé avec le modèle DCN+. Le principe de ce système est le même que celui des diguettes de 50 cm en courbes de niveau revêtus avec des ouvrages de déversement. L'innovation dans ce type d'aménagement se trouve au niveau des ouvrages de déversement, ce sont des pertuis de

vidange en béton muni d'une vannette métallique : ce qui permet aux paysans une maîtrise totale de l'eau sur l'aménagement (figure 4).



Figure 1 : (a) pertuis de vidange, (b) DCN+ du bas-fond de Kankaniba

Les diguettes au nombre de 17 sont empierrées avec du géotextile. Elles sont disposées longitudinalement et transversalement (perpendiculairement) aux écoulements des versants de pente et du lit mineur. Les diguettes (exceptées les premières DCN sur l'affluent sud) ont un espacement important plus de 100m. Une diguette ceinturant au Nord le bas fond sur cette partie amont permet de dévier d'autres eaux qui viennent du nord, vers des jardins plutôt que le bas fond. Au niveau des dernières diguettes on note un excès d'eau, surtout sur le lit mineur. Les diguettes semblent en bon état, les pertuis également sauf quelques brèches qu'on observe sur les points bas de la plaine notamment dans la 1ere diguette. Les casiers rizicoles sont visibles, des petites diguettes pour une gestion de l'eau à la parcelle et limiter le drainage et le lessivage des engrais et des diguettes à l'intérieur des parcelles de 0.25 et 0.12 ha. Le nombre de parcelles est d'environ 300 avec une taille moyenne de 0.12 ha (TOUROU, Juillet 2019).

2. Objectif de l'étude et hypothèses de travail

2.1. Objectif de l'étude

L'objectif de ce stage est d'évaluer les performances de l'aménagement autrement dit, la capacité des pertuis à évacuer les lames d'eau accumulées après les crues. Plus spécifiquement, ce travail vise les objectifs suivants :

- Vérifier la capacité de vidange du bas-fond par simulation à l'aide de modèle de simulation expérimental et ainsi vérifier la capacité de l'aménagement à évacuer une crue décennale

humide en trois (3) jours, avec une hauteur et un débit de déversement dans les normes requis par le PAFR.

- Evaluer l'impact de l'aménagement sur les cultures.
- Connaître et comprendre les règles de gestion de l'aménagement par les paysans afin de comprendre quelle est la responsabilité des actions des paysans dans le dysfonctionnement de l'aménagement.

2.2. Hypothèse de travail

La démarche méthodologique visant l'atteinte de ces objectifs est construite autour de l'hypothèse principale selon laquelle : l'incapacité des pertuis à évacuer les eaux accumulées pendant les crues dans le bas-fond est la cause du dysfonctionnement de l'aménagement.

A cette hypothèse générale s'ajoute les hypothèses spécifiques suivantes :

- Les dysfonctionnements de l'aménagement qui impactent négativement les rendements.
- Les agriculteurs sont en partie responsables des difficultés que rencontre le bas-fond.

II. MATERIEL ET METHODES

1. PRESENTATION ET LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE.

1.1. Localisation de la zone d'étude

Le bas-fond de Kankaniba est situé dans le village de Kankaniba d'où il tire son nom. Le village de Kankaniba relève de la commune rurale d'Oronkua. La commune d'Oronkua est située au NORD de la province la province du IOBA dans la région du sud-ouest. La commune de Oronkua, est située au Sud-Ouest du Burkina-Faso entre 11° et 12° de latitude Nord et entre 3° et 4° de longitude Ouest. Oronkua est limitée à l'Est par celle de Koper, à l'Ouest et au Sud par les communes de Guéguéré et de Dissin, au Nord par la commune de Koti, au Nord-Est par celle de Fara et au Nord-Ouest par celle de Oronkua. La province du Ioba est limitée à l'Est par la province de la Sissili et la république du Ghana. Oronkua est situé à environ 240 km de la capitale Ouagadougou en empruntant respectivement la national N1 de Ouagadougou à la commune de PA sur une distance d'environ 220 Km puis, la national N12 de Pa à Oronkua sur une distance de 20 km. L'accès au village de Kankaniba se fait par une piste en terre sur environ 9 km.

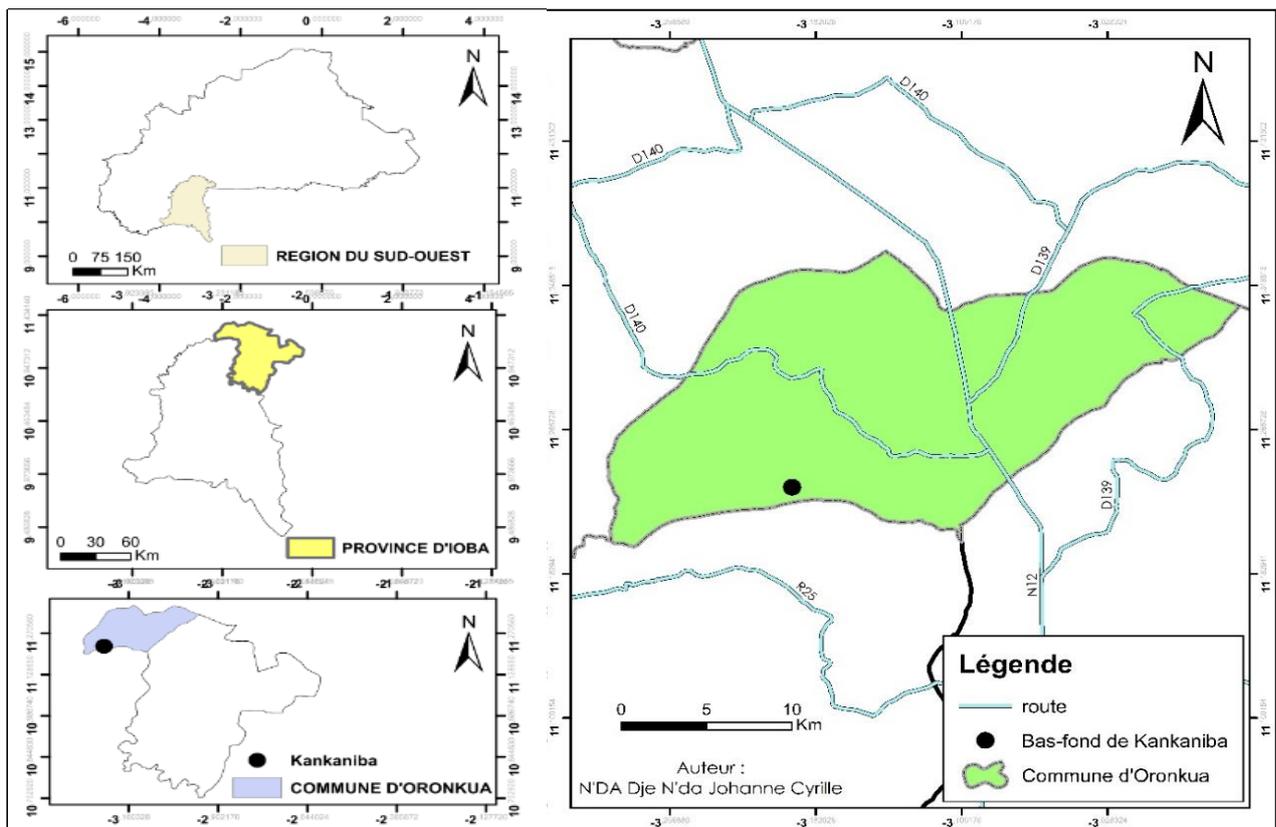


Figure 2 : localisation de la zone d'étude

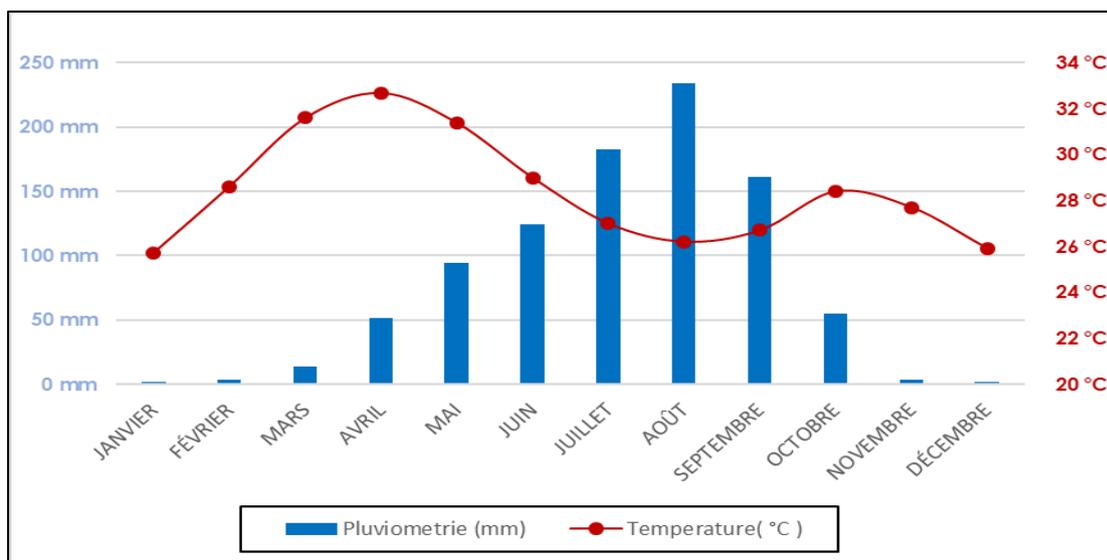
1.2. Climat

Du point de vue climatique, la Commune d'Oronkua jouit de bonnes conditions pluviométriques (937 mm), d'une bonne couverture végétale, et dispose de sols relativement

fertiles. Ainsi le village de Kankaniba, où se situe le bas-fond, bénéficie de toutes ces conditions climatiques, qualifiées de climat soudanien.

Dans la zone d'étude, la pluie commence en générale en Avril et se poursuit jusqu'en octobre. Cependant les pluies de Avril et d'Octobre sont sporadiques et présentent des valeurs interannuelles faibles, 51 mm et 55 mm respectivement. La pluie devient assez régulière en générale à partir de Mai avec une valeur interannuelle de 94 mm Juillet. Août, Septembre sont les mois les plus pluvieux avec respectivement 182 mm, 234 mm et 161 mm comme pluie mensuelle interannuelle. Des précipitations moyennes de 3 mm font du mois de janvier le mois le plus sec. En août, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 234 mm.

Quant aux températures, au mois d'avril, la température moyenne est de 32.7°C. Avril est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 25.7°C à cette période.



Graphique 1 : diagramme climatique de la commune d'Oronkua entre 1970 et 2000
(Source : <http://www.hydrosciences.fr/sierem/>)

1.3. Les sols

Dans la commune, on rencontre essentiellement des sols gravillonnaires et des sols bruns constitués en grande partie d'associations de sols ferrugineux lessivés ou appauvris hydromorphes avec des poches de sols à lithosols sur cuirasse ferrugineuse. Les principaux types que l'on rencontre se présentent comme suit :

- Les sols gravillonnaires ; ce type de sol, sableux en surface, sablo-argileux en profondeur.

- Les sols limono-sableux en surface et argileux en profondeur ; ces sols riches en matières organiques sont de fertilité satisfaisante, et aptes à la production du mil, du riz du maïs, du haricot, de l'arachide, du coton, etc.
- Les sols ferrugineux lessivés sableux en surface et argileux en profondeur, de perméabilité et de porosité médiocres.

Concernant le bas-fond de Kankaniba on rencontre trois types de sols sont rencontrés. Des franges hautes vers le lit mineurs on a les sols sableux, argilo-limoneux et les sols argileux. En amont on note les sols argilo-limoneux de couleur blanche. (TOUROU, Juillet 2019)

1.4. Relief et hydrographie de la zone d'étude

Le relief de la zone d'étude, à l'image de la région du Sud-Ouest très accidenté est constitué dans sa majorité de plateaux dont l'altitude moyenne atteint 330m. Quasiment tout le bassin est constitué d'une succession de plaines, de collines, de bas-fond et de buttes. L'altitude moyenne des collines sur le bassin versant varie entre 300 et 360 m.

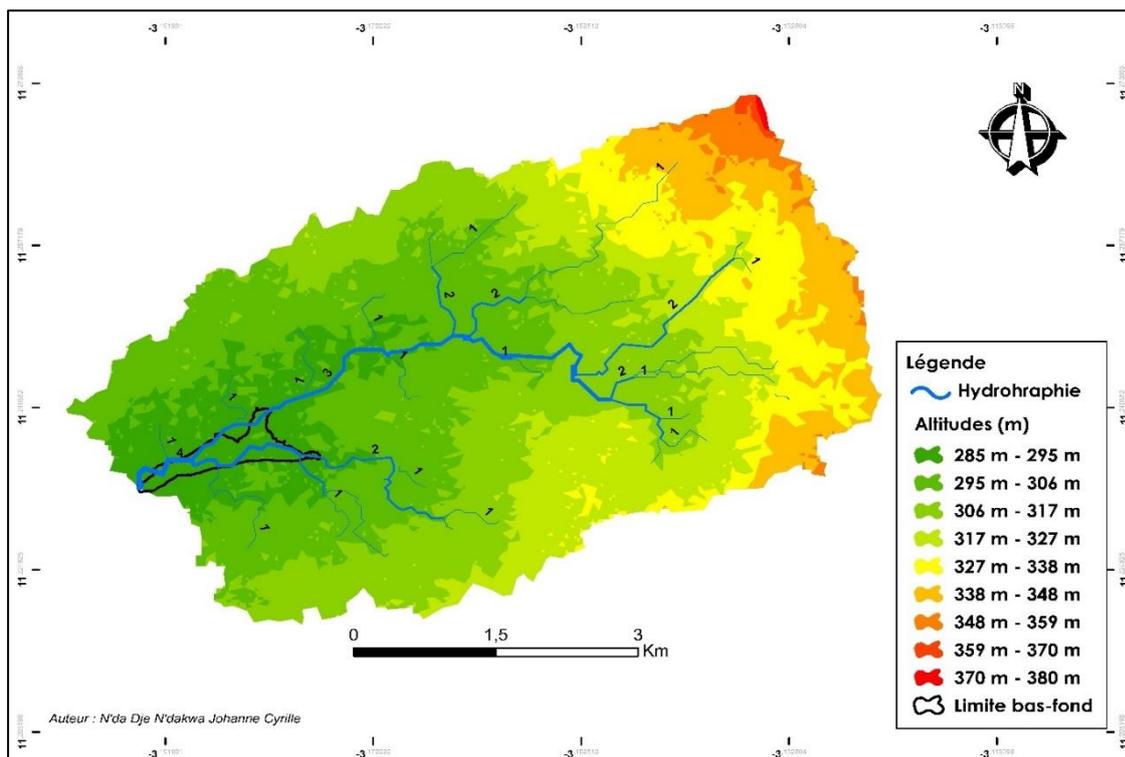


Figure 3 : le réseau hydrographique et l'hypsométrie du bassin versant

Le bas fond qui constitue l'exutoire de notre bassin quant à lui est relativement plat, les altitudes y varient entre 275 m et 288m. Le bas-fond de Kankaniba se situe à la confluence de deux bras de rivières qui l'alimentent. Les eaux proviennent principalement de l'affluent nord qui collecte les eaux

déversées par le réservoir de Gagnou en amont de ce cours d'eau. Ces eaux sont complétées par l'affluent plus au sud qui donne l'apparence d'une vaste plaine. (TOUROU, Juillet 2019)

2. Matériel

2.1. Les instruments présents sur le site

La modélisation consiste à mettre au point un ensemble d'équations ou de règles pour décrire un phénomène de façon reproductible et simulable. Pour ce faire il est fondamental, de connaître rigoureusement les données d'entrées qui permettent d'alimenter le modèle. La phase de collecte de données constitue donc la première et l'étape la plus importante dans ce processus de modélisation.

Pour notre étude il s'agit principalement de collecter les informations relatives aux écoulements tant en surfaces qu'en profondeur, ainsi, un dispositif d'observation des eaux de surface et des eaux souterraines a été installé sur le site.

L'implantation des différents appareils de mesures à l'intérieur du bas-fond a été choisie en consultation avec l'IRD et le CIRAD. Ces instruments sont :

2.1.1. Des limnimètres :

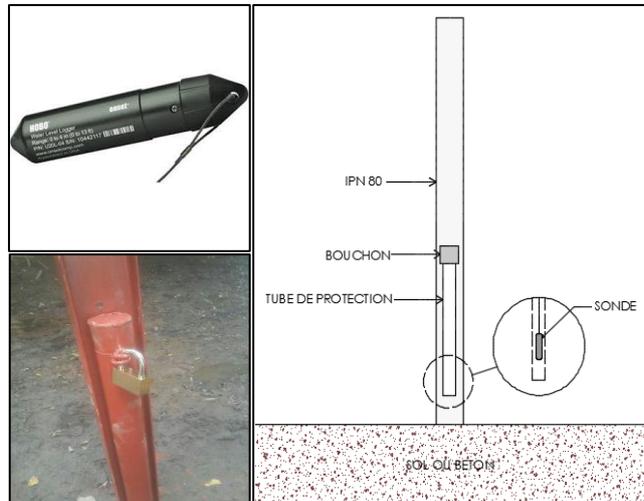


Figure 4 : illustration et schéma d'installation des limnimètres du bas-fond de Kankaniba

Ce réseau est composé de cinq (05) limnimètres (L1, L2, L3, L4, L5) répartis dans le bas-fond et d'un limnimètre (L6) en dehors du bas-fond, précisément sur la rivière principale qui alimente le bas-fond. Tous les limnimètres sont équipés de sonde. Ces sondes sont des enregistreurs de pressions de marque HOBO. Le rôle de ces appareils est de mesurer la pression exercée par la colonne d'eau située au-dessus d'eux à intervalle de temps régulier.

2.1.2. Des Piézomètres

Ce réseau est composé de 6 piézomètres répartis dans le bas fond. Ces piézomètres sont les même que ceux utilisées pour les limnimètres. Les piézomètres sont placés à l'intérieur d'un tube PVC. Un trou a été fait à l'aide d'une tarière jusqu'à une profondeur de 3 m environ.

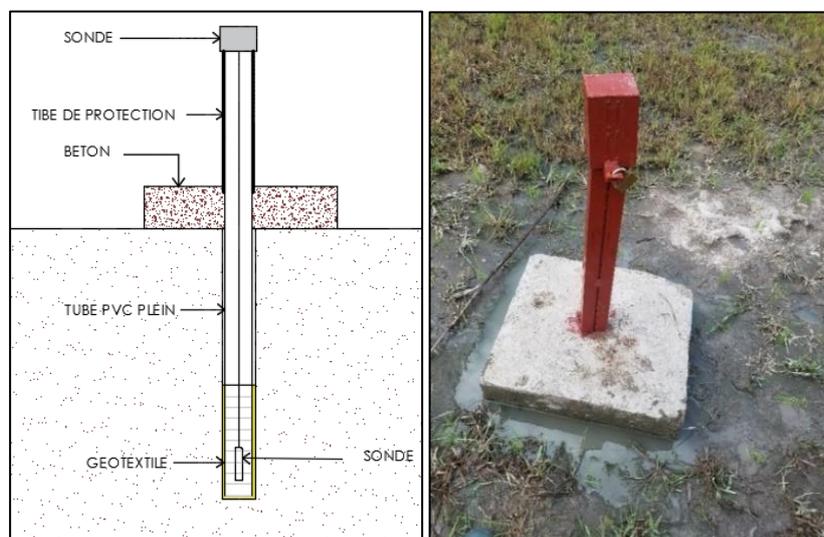


Figure 5 : illustration et schéma d'installation des piézomètres du bas-fond de Kankaniba

2.1.3. Un Baromètre

Une sonde à pression Hobo pour la compensation atmosphérique a été placée au village de Kankaniba. Placée à l'air libre, cette sonde mesure la pression atmosphérique et permet ainsi d'effectuer une correction sur les pressions mesurées par les sondes placées sous l'eau, et d'estimer la colonne d'eau au-dessus des sondes. Les enregistrements sont synchrones avec les enregistrements effectués par les limnimètres et piézomètres, à savoir une mesure toutes les 12 minutes.



Figure 6 : Illustration du baromètre de Kankaniba

2.1.4. Des pluviomètres

Deux (02) pluviomètres à enregistreurs Hobo RG3-M ont été installés, une au niveau du village de Kankaniba, une dans le bassin amont vers le village de Gagnou. Ces équipements mesurent les basculements (augets de 0,2mm).

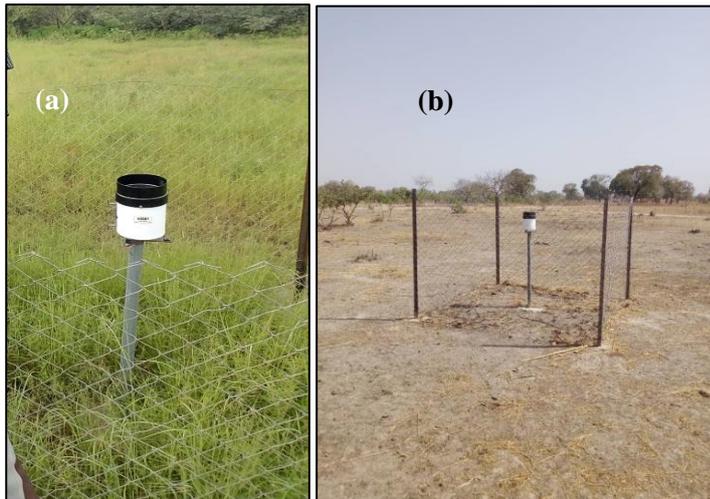


Figure 7 : illustration des pluviomètres de la zone d'étude ((a) : pluviomètre de Kankaniba ; (b) : pluviomètre de Gagnou

La carte ci-dessous présente l'ensemble du dispositif installé sur le site dans le cadre de ce projet

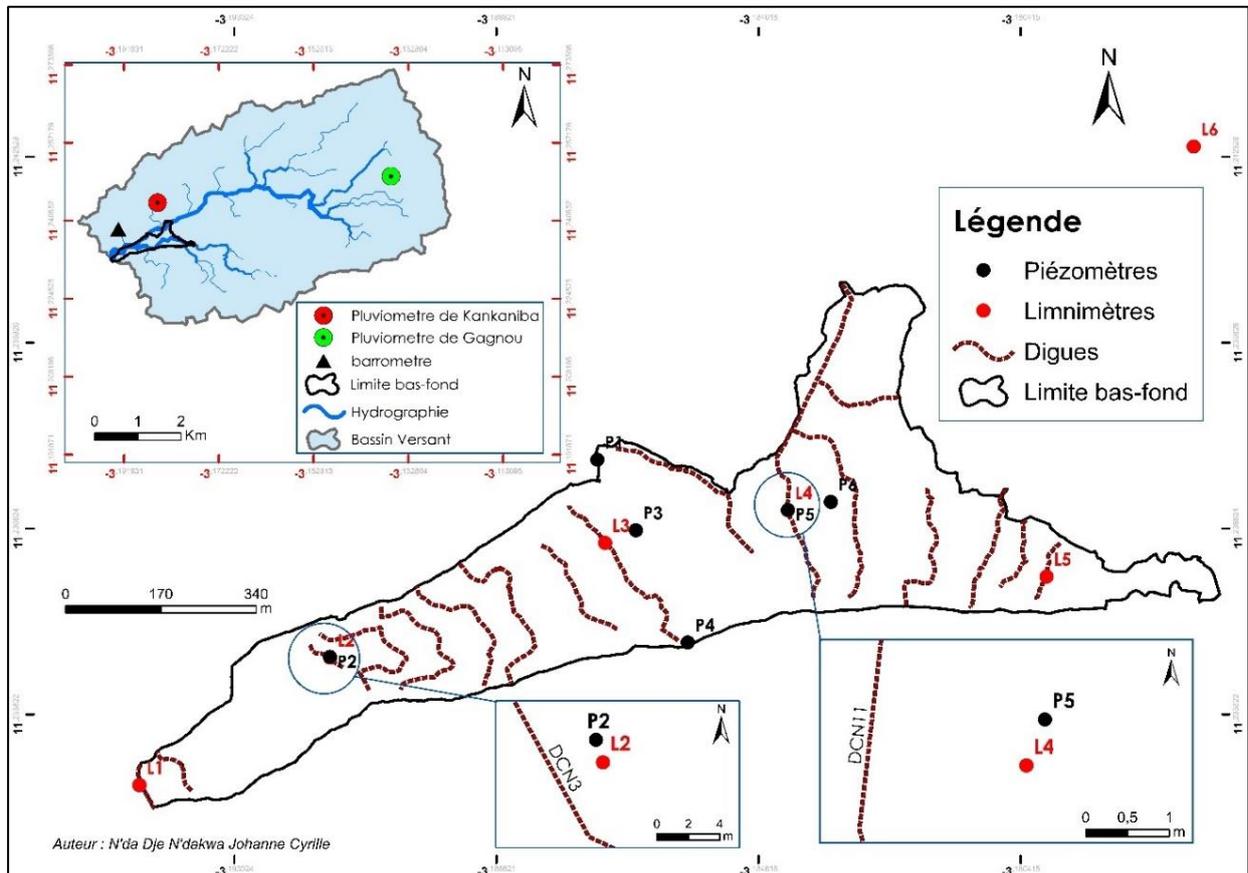


Figure 8 : Dispositif d'expérimentation

2.2. Les outils de traitement des données

En fonction des objectifs à atteindre, nous avons utilisé un ensemble d'outils qui sont présentés de la manière suivante :

- **La création d'une base de données SIG de l'aménagement** : un GPS Garmin 62 a été utilisé afin de géo-référencer les contours du bas-fond, des digues ainsi que les coordonnées de tous les instruments installés sur le site.
- **La collecte et le traitement des données** : la suite **Excel** nous a permis de traitement de toutes des données récoltées sur le site : les données limnimétriques, piézométriques, climatiques et hydrauliques
- **Etude hydrologiques** : le logiciel **HYFRANPLUS** a servi à réaliser l'analyse fréquentielle enfin de déterminer la valeur de la pluie décennale humide nécessaire à la modélisation, **ARGIS 10.4.1** nous a servi à caractériser physiquement le bassin versant pour les calculs hydrologiques
- **Calcul des besoins en eau du riz** : le logiciel **CROPWATT** nous fournit les coefficients culturaux du riz afin de déterminer l'ETM.
- **Modélisation hydraulique** : la suite **Excel** a été le support de la modélisation hydrauliques à l'aide des équations de l'hydraulique.
- **Interprétation des Enquêtes** : le logiciel **SPSS** nous a permis de réaliser les graphiques nécessaires à l'interprétation des résultats des enquêtes.
- **L'élaboration des cartes** : le logiciel **ARGIS 10.4.1** a servi à l'élaboration des différentes cartes concernant le bassin versant et la situation de la zone d'étude.
- **Les schémas** : le logiciel **Autocad** nous a été utilisé pour la réalisation des schémas et illustrations.

3. Méthodes

La méthodologie utilisée pour conduire l'étude afin de répondre aux objectifs de cette étude débute d'abord par une phase de collecte de données, qui consiste à rassembler toutes les données hydrauliques de l'aménagement en vue d'une première analyse et aussi pour alimenter un modèle qui permettra de simuler le comportement hydraulique du bas-fond et de déterminer les zones potentiellement inondables et ainsi pouvoir apprécier le niveau de fonctionnalités des DCN à Kankaniba. Ces données sont entre autres des données hydrauliques issues des instruments installés sur le site (limnimètres, piézomètres, pluviomètres, baromètre), et d'autres mesurées in situ à savoir les mesures de débit. Une enquête sur les règles de gestion de l'aménagement auprès des paysans afin de connaître la part de responsabilité des paysans dans les dysfonctionnements du bas-fond et un suivi de vingt et huit (28) parcelles ont également été réalisés. Le schéma ci-dessous illustre bien la méthodologie utilisée.

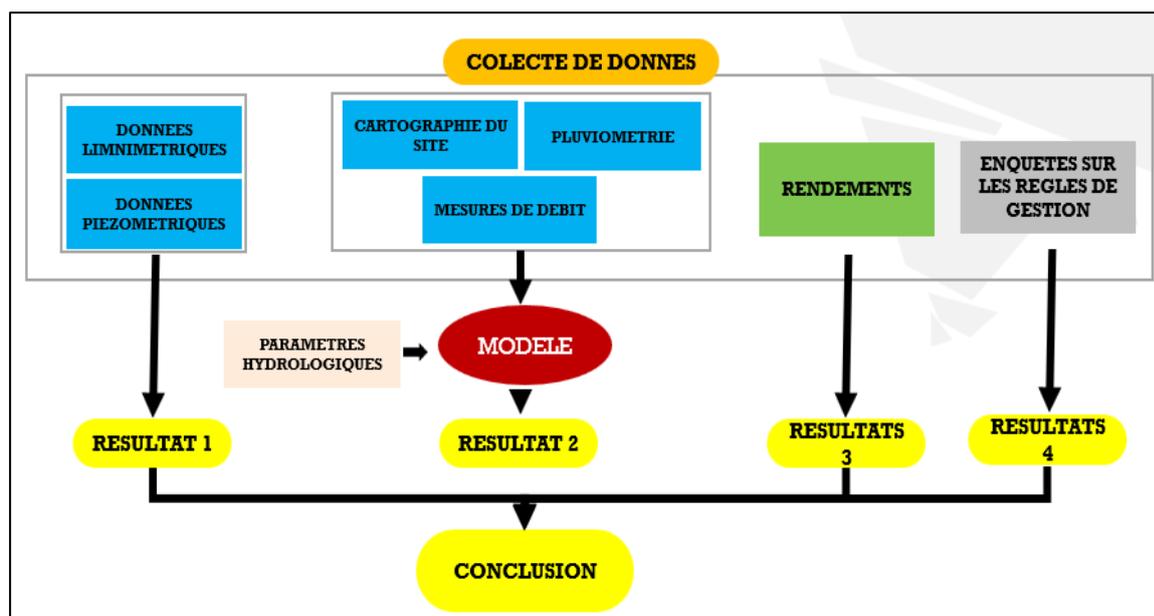


Figure 9 : Diagramme illustrant la méthodologie utilisée

3.1. SIG de l'aménagement et des instruments associé à l'étude

La première étape dans la collecte de données était de dresser un SIG du bas-fond aménagé de Kankaniba où sont représentées les diguettes, le contour du bas-fond, l'emplacement des pertuis et des instruments de mesure (piézomètres, limnigraphes, pluviomètres, baromètre). Dans notre étude, les données ont été collectées sur le terrain, assisté de Mr Herman autochtone du village pour sa bonne connaissance du bas-fond.

3.2. Données Piézométriques, limnimétriques et climatiques.

Les données des enregistreurs de pression et des pluviomètres étaient régulièrement téléchargées via l'utilitaire HOBOWare sur l'ordinateur. (Figure 12).



Figure 10 : (a) pluviomètre ; (b) retrait de la sonde Dun limnimètre ; (c) transfert des données du limnimètre

La pluviométrie journalière est obtenue en faisant le produit de la somme des basculements de la journée par 0,2mm qui correspond à la hauteur d'eau nécessaire au basculement. Les sondes limnimétriques et piézométriques installées sur le site sont des enregistreurs de pressions. Il nous faut

donc convertir ces pressions en lames d'eau réelles. Pour ce faire, des mesures manuelles étaient relevées chaque semaine pendant cinq (05) semaines à l'aide d'une sonde manuelle pour les piézomètres et d'un décimètre pour les limnimètres. Au niveau des limnimètres, à l'aide d'un décimètre nous mesurons la distance séparant le haut de l'IPN et la surface de l'eau en prenant soin de marquer l'heure de la mesure (figure 13.b).

Quant aux piézomètres, une sonde manuelle (figure 13.c) était utilisée pour mesurer le niveau de la nappe du haut du bouchon à la surface de l'eau en prenant soin de marquer l'heure de la mesure (figure 13.a).



Figure 11 : (a) mesure manuelle du niveau de l'eau au piézomètre 1 ;(b) mesure manuelle du niveau de l'eau au limnimètre 3 ; (c) sonde manuelle

3.3. Mesures De Débits

Des mesures de débits ont été effectuées in situ à l'exutoire, plus précisément où se trouve le limnimètre1 et sur les deux entrées d'eau dans le bas-fond (limnimètre 5 et 6). Le but principal des mesures de débit est dans un premier temps, d'évaluer les apports dans le bas-fond et d'autre part, d'établir une courbe hauteur débit, afin de pouvoir convertir toute hauteur d'eau en débit après un évènement pluvieux en vue d'alimenter le modèle hydraulique. Ne disposant pas de moulinet, la méthode que nous avons utilisée est celle du flotteur. Une ligne était étendue perpendiculairement à l'écoulement. Cette ligne était marquée à l'aide de ruban adhésif à chaque 50 cm. Ces marques étaient en fait les points de mesure. A chaque 50 cm, le triplet (d_i, t_i, h_i) était relevé où d_i représente la distance parcourue par le flotteur, t_i le temps mis par le flotteur pour parcourir la distance d_i , et h_i la profondeur de l'eau en ce point

$$Q = \alpha \sum_i^n Q_i = \alpha \sum_i^n S_i \times V_i = \alpha \sum_i^n \frac{h_{i-1} + 6h_i + h_{i+1}}{4} \times \frac{d_i}{t_i} \times 0,25$$

Où Le terme $\frac{h_{i-1}+6h_i+h_{i+1}}{4} \times 0,25$ représente la surface de la partie hachurée (figure 15) qui est la somme de deux trapèzes. Le coefficient de débit permet de corriger la surestimation du débit que génère la méthode du flotteur. En effet il existe un gradient de vitesse entre la surface et le fond de la section. Ce gradient s'explique par le fait que l'eau s'écoule librement en surface tandis qu'il est ralenti au fond par les frottements liés à la présence des sédiments. Autrement dit, le débit mesuré en surface est plus élevé que le débit réel.

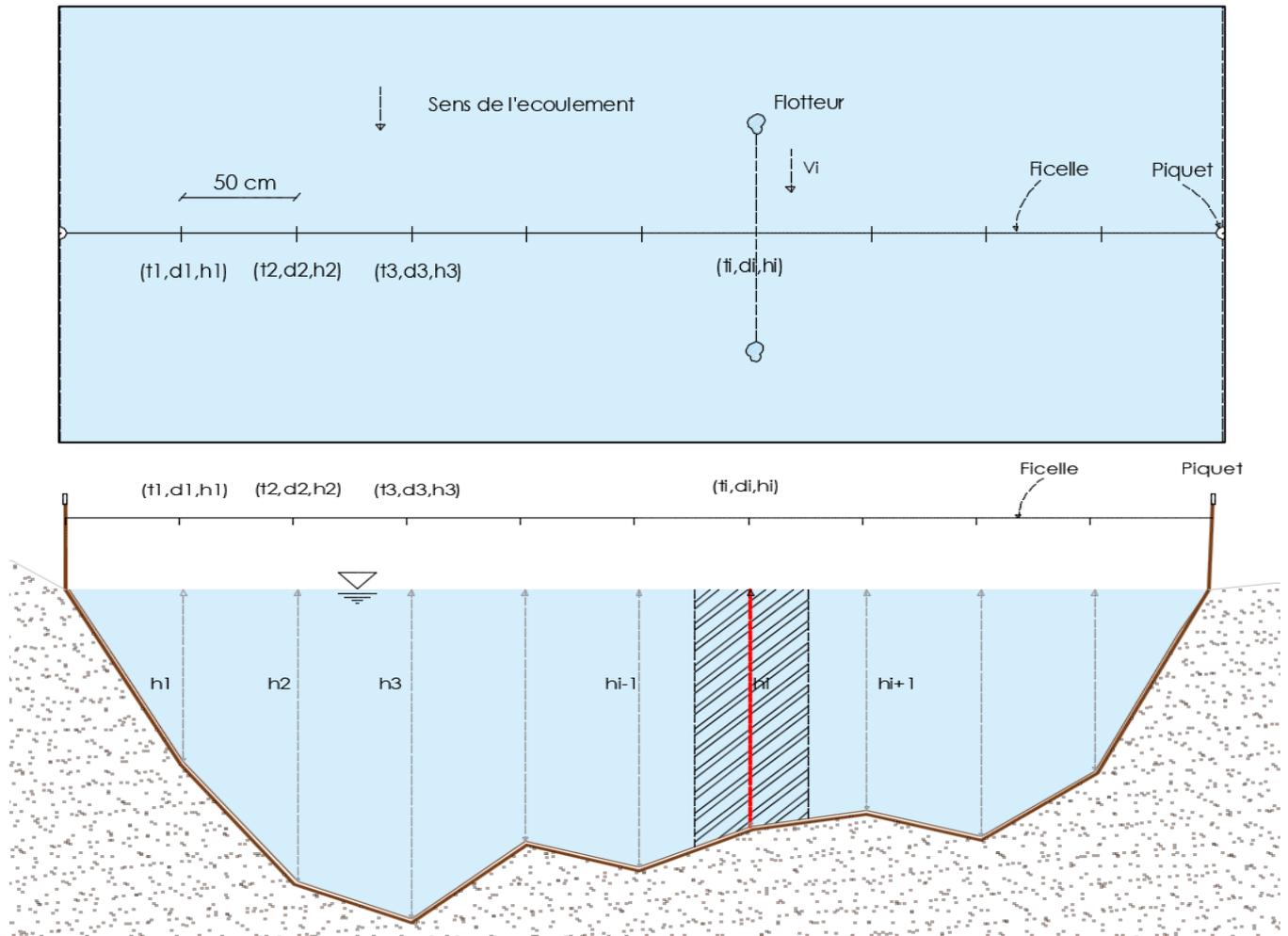


Figure 12 : Coupe transversale de la section mouillée

Ainsi, le coefficient α permet donc de corriger cette surestimation ; dans notre cas cette valeur est prise égale à 0,85 (IRD, 2007)



Figure 14 : (a) jaugeage au limnimètre 6. (b) jaugeage à l'exutoire

3.4. Caractérisations hydrologiques du bassin versant

Cette section a pour but de déterminer la pluie décennale humide, le débit décennal qui en découle, ainsi que l'hydrogramme de crue. La crue a été estimée par la Méthode OSTORM comme le recommande le bulletin 54 de la FAO pour les bassins versants dont la superficie est inférieure à 60 km² (FAO, 1998) :

$$Q_{10} = A \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{T_{b10}}$$

Avec : A : coefficient d'abattement ;

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennale ;

α_{10} : Coefficient de pointe ;

S : superficie du bassin versant (km²) ;

T_{b10} : temps de base de la crue décennale (mn) ;

P_{10} : pluie journalière maximale décennale (mm) ;

Q_{10} : crue décennale (m³/s).

Le détail des calculs est fourni en (annexe 4).

Les données pluviométriques utilisées pour les calculs fréquentiels sont les pluies maximales journaliers de 1986 à 2016 de la station de Gaoua.

La durée de la pluie décennale humide a été approchée avec des courbes IDF de la commune de Ouagadougou, ne disposant pas de courbes IDF de la région.

Les valeurs de décroissance du débit après le temps de concentration ont été estimées à partir de l'hydrogramme de crue.

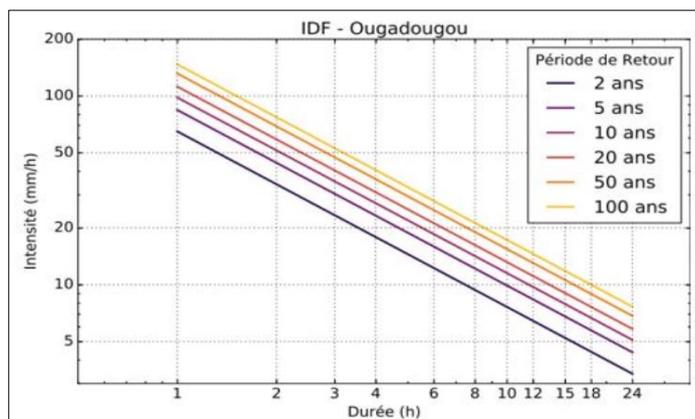


Figure 15 : Courbes IDF de la ville de Ouagadougou (source : www.iedafrique.org/Courbes-IDF-un-outil-d-aide-au-dimensionnement-d-ouvrages-hydrauliques-a.html)

4. Enquêtes sur les règles de gestion

Dans cette section il s'agit de connaître les règles de gestion de l'aménagement dans le but de savoir si les disfonctionnements de l'aménagement sont essentiellement dus au mauvais fonctionnement de celui-ci, ou plutôt s'il faut y voir des mauvaises pratiques concernant la gestion de l'aménagement. Pour cela, nous avons enquêté 28 producteurs, propriétaires des parcelles que nous avons suivies dans le bas-fond durant la saison humide 2019. Nous étions assistés dans cette tâche par Mr Herman autochtone et paysan du village qui nous servait de traducteur.



Figure 16 : Entretien avec une productrice du bas-fond de Kankaniba

5. Difficultés rencontrées dans la collecte des données

Dans nos démarches de collecte des données dans le cadre de notre étude, malgré notre détermination quant à l'atteinte de notre but, nous nous sommes confrontés à quelques difficultés qui ont eu un impact plus ou moins notable sur la quantité et la qualité des données récoltées.

La lenteur des procédures administratives ne nous ont pas permis de nous rendre à temps sur le terrain, en début de la saison des pluies, ce qui nous aurait permis de nous rendre compte nous-même des pratiques de gestion de l'aménagement entre autres, l'état des pertuis en début de saison. Et pour la même raison nous n'avions pas pu récupérer à temps les coordonnées des parcelles afin commencer le suivi des parcelles dès le début semis. Comme conséquences, nous ne disposions que de cinq (05) semaines de données concernant le suivant des plantes ce qui est insuffisant pour se prononcer sur l'impact de l'aménagement sur la croissance des plantes.

En plus des difficultés administratives, nous étions limités en termes de moyens matériels et humains. Sur le plan matériel, nous ne disposions pas de matériel adéquat pour la mesure de débit, ce qui nous a contraint à utiliser la méthode du flotteur réduisant la précision ainsi que la qualité des données.

D'autres part nous étions limités en moyen de déplacements. Nous n'avions pas la possibilité de nous rendre promptement au bas-fond au besoin. Cette incapacité ne nous a pas permis d'effectuer un grand nombre de jaugeages afin d'établir une courbe hauteur débit et d'estimer correctement les apports sur le bas-fond. Nous avons de nombreuses activités que nous devons mener à savoir : le SIG de l'aménagement, les jaugeages, les enquêtes, les mesures manuelles au niveau des sondes, et le suivi des parcelles, cependant nous étions que deux de manière permanente et quelques fois assisté par Mr Guillaume Lacombe et Mr Jean Louis Fusiller du CIRAD et des techniciens de l'IRD et de WASCAL. A titre d'exemple, lorsque survenait une pluie, le lendemain de la pluie, nous devrions nous rendre au bas-fond pour le jaugeage. Dans le même temps nous avions souvent aussi les mesures manuelles au niveau des sondes ainsi que le suivi des plantes pour ne citer que ceux-ci. Nous étions donc contraints à faire un choix compte tenu que nous ne pouvions nous séparer. Cette incapacité nous a fortement handicapés dans la collecte de nos données.

6. PRESENTATION DU MODELE

Les données étant collectées, la prochaine étape est la mise en équations du processus hydraulique afin de reproduire de manière simplifiée la dynamique des écoulements dans le bas-fond par un modèle se basant sur les équations de l'hydraulique. Le but principal de cette section est de connaître la hauteur d'eau qu'engendre une crue en tout point du bas-fond, laquelle hauteur nous permettra de déduire des paramètres telle que la hauteur et la vitesse de débordement au-dessus des digues et ainsi

comparer ces valeurs aux exigences requis pour ce type d'aménagement.

Pour cela, le bas-fond est subdivisé en plusieurs réservoirs appelés blocs (12 blocs, voir annexe 3) qui sont en fait les espaces entre les diguettes. Le modèle cherche à déterminer la lame d'eau (figure 20) dans chaque espace inter-diguette. Pour illustrer le fonctionnement du modèle considérons l'illustration ci-dessous :

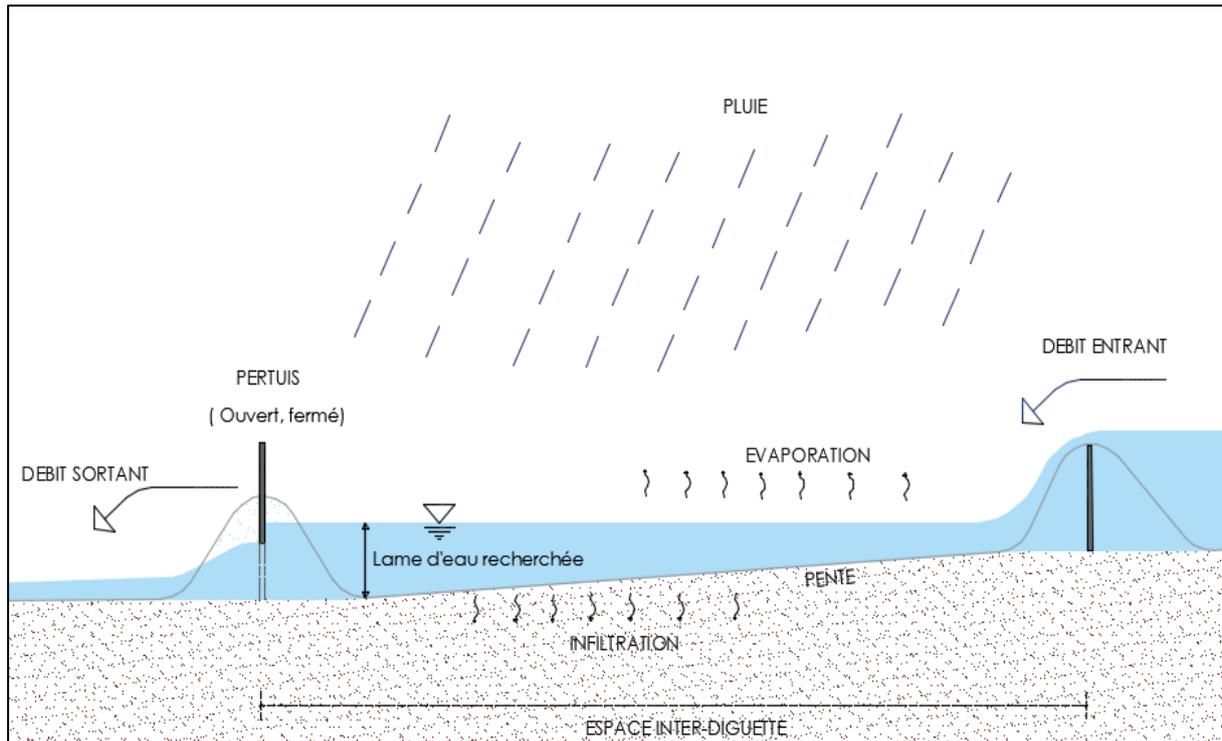


Figure 17 : schéma conceptuelle du modèle

Le diagramme qui suit synthétise le processus par lequel on obtient cette lame d'eau :

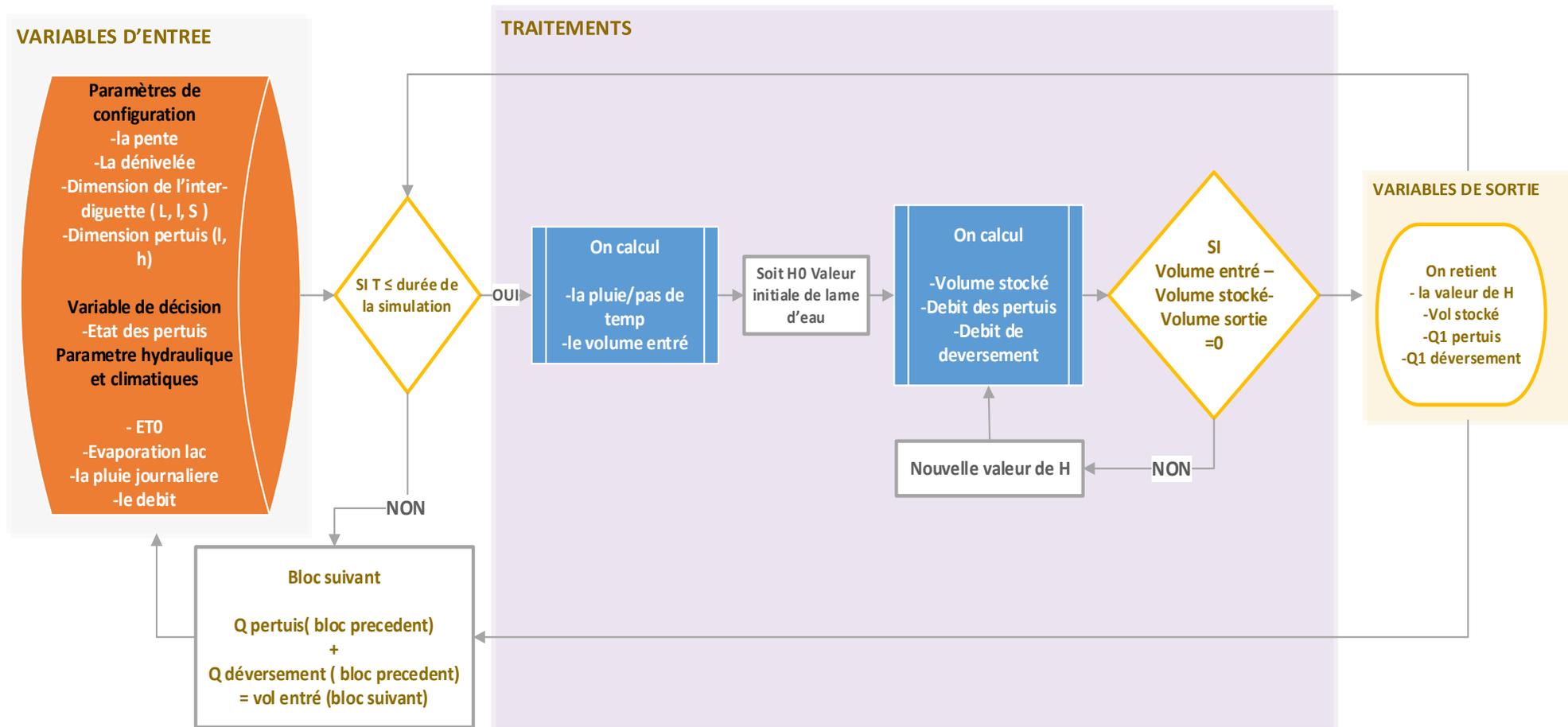


Figure 18 : illustration du fonctionnement du modèle

6.1. Les variables et leurs Expressions

a. La pluie

Le terme pluie ici désigne la pluie horaire car le pas de temps est l'heure. Elle est obtenue en faisant la pluie journalière divisée par le temps en heure que dure l'averse.

b. ETM

Les valeurs de ETM du riz ont été calculé par la formule suivante :

$ETM(mm) = k_c \times ET0 (mm)$ (KEITA, 2018) Où $ET0$ et k_c sont obtenues respectivement à partir de la

Station située à Dano et de la base de données du logiciel CROPWATT.

c. L'évaporation

Ne disposant pas de données dans la région, nous avons considéré celles de la ville de Gaoua, ville la plus proche dont nous disposons de données complètes de 1986 à 2016. Ces données sont relatives à l'évaporation d'un bac de classe A. Après avoir regrouper les données d'évaporation bac par mois, la formule de POUYAUD nous a permis de passer de l'évaporation bac à l'évaporation lac qui est la donnée dont nous avons besoin.

$$Ev lac (mm/mois) = 1,665 \times Nbre de jour du mois \times \left(\frac{Evaporation bac_{mois}(mm/mois)}{Nbre de jour du mois} \right)^{0,602} \quad (B. POUYAUD, 1977)$$

Ensuite, nous faisons la moyenne des valeurs *Evaporation lac* pour mois de Juin à Décembre c'est-à-dire, les mois couvrant la saison pluvieuse. Après avoir obtenu cette valeur, nous la ramenions en mm /jour en la divisant par 30 jours :

$$Evaporation lac (mm/jours) = Evaporation lac (mm/mois)/30$$

d. La pente longitudinale

La pente de chaque bloc a été évaluée avec Google Earth. Elle est en moyenne de 0,04 m/m.

e. Q_{Pert} Debit passant par les pertuis

Dans notre étude nous faisons l'hypothèse de la sortie dénoyée du pertuis pour des soucis de simplification du modèle.

On note w l'ouverture de la vanne (hauteur entre le seuil de l'ouvrage et le bas de la vanne)

La largeur de la vanne est notée l ; La hauteur w correspond à la section contractée. C Est le coefficient de contraction. On exprime souvent l'équation de la vanne dénoyée en fonction d'un coefficient de débit sous la forme (BAUME, Gilles BELAUD, & Pierre-Yves-VION, 2013):

$$Q_{\text{pertuis}} = c \times l \times w \times \sqrt{2 \times g} \times \sqrt{h_{\text{am}}}$$

Avec : $\begin{cases} C \text{ le coefficient de debit} \\ l \text{ la largeur du pertuis (m)} \\ w \text{ l'ouverture du pertuis (m)} \\ h_{\text{am}} \text{ la lame deau en amont du pertuis (m)} \\ g \text{ la constante de pesanteur (Kg.N.m)} \end{cases}$

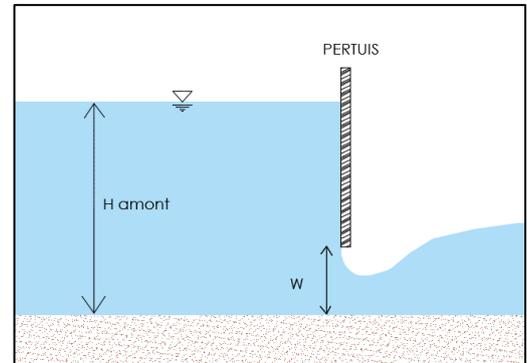


Figure 19 : vanne de vidange en dénoyé

Cependant dans notre étude nous supposons que lorsque le pertuis est ouvert il est ouvert entièrement autrement dit w est égale à h_{am} et le coefficient de contraction est pris égale à 0,4 (BAUME, Gilles BELAUD, & Pierre-Yves-VION, 2013). La formule devient donc :

$$Q_{\text{pertuis}} = c \times l \times \sqrt{2 \times g} \times h_{\text{am}}^{\frac{3}{2}}$$

f. $Q_{\text{deversement}}$ le debit de deversement

L'écoulement de l'eau sur les digues peut être assimilé à celui sur un déversoir seuil. On note L la longueur de déversement c' est à dire la longueur de la digue, Q le débit et h_{am} la hauteur d'eau au-dessus de la digue. Le débit de déversement est donné par la relation :

$$Q_{\text{deversement}} = \mu \times L \times \sqrt{2g} \times (H - h_{\text{pertuis}})^{\frac{3}{2}} \quad (\text{BAUME, Gilles BELAUD, \& Pierre-Yves-VION, 2013})$$

Avec $\begin{cases} \mu \text{ le coefficient de debit} \\ L \text{ la longuer de la digue (m)} \\ H \text{ la lame deau au pied de la digue (m)} \\ h_{\text{pertuis}} \text{ la hauteur du pertuis (m)} \\ g \text{ la constante de pesenteur (m.s}^{-2}\text{)} \end{cases}$

μ le coefficient de debit Est pris égale à 0,4 (BAUME, Gilles BELAUD, & Pierre-Yves-VION, 2013)

g. $V_{Stocké}$ Le volume stocké dans l'inter-diguettes.

Soit H_{aval} la lame d'eau au pied de la digue et L la longueur d'étalement de l'eau. Le volume stocké dans le bloc se présente sous deux configurations en fonction de l'espacement entre les diguettes.

- **1er cas** : $H_{aval} < D_{nivelé}$

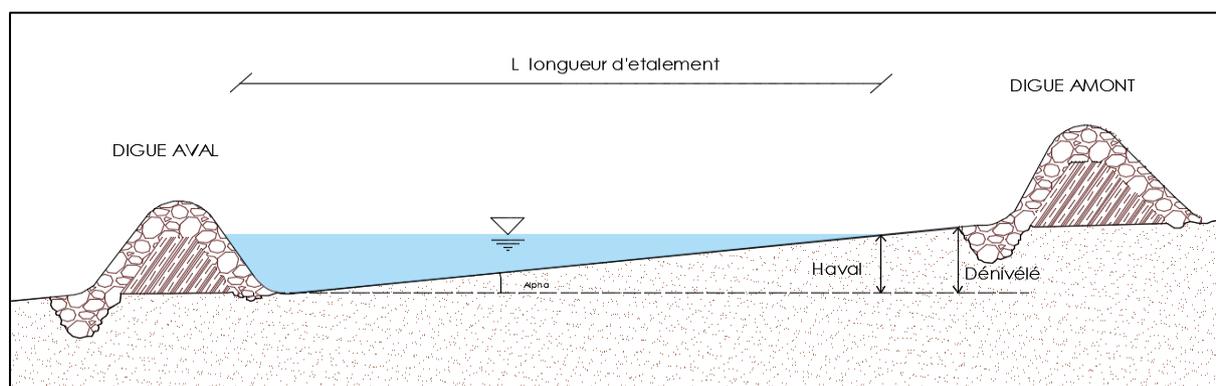


Figure 20 : Illustration du cas 1

Dans cette configuration, le volume stocké peut être assimilé au volume d'un prisme triangulaire. Le volume stocké est donc :

$$V_{Stocké} = \frac{Base \times hauteur \text{ du triangle}}{2} \times largeur \text{ du bloc}$$

$$V_{Stocké} = \frac{H_{aval}^2}{2 \times pente} \times l$$

Cependant enfin de prendre en compte la réduction du volume engendrée par la pente transversale cette valeur sera réduite de moitié (FAO, s.d.), d'où :

$$V_{Stocké} = 0,5 \times \frac{H_{aval}^2}{2 \times pente} \times l$$

Avec :

- $V_{Stocké}$ le volume stocké (m^3)
- H_{aval} : la hauteur au pied de la digue aval (m)
- l : la largeur du bloc (m)
- $pente$: la pente moyenne du bloc (m/m)

- **2ieme cas ($H_{aval} \geq D_{é nivelé}$)**

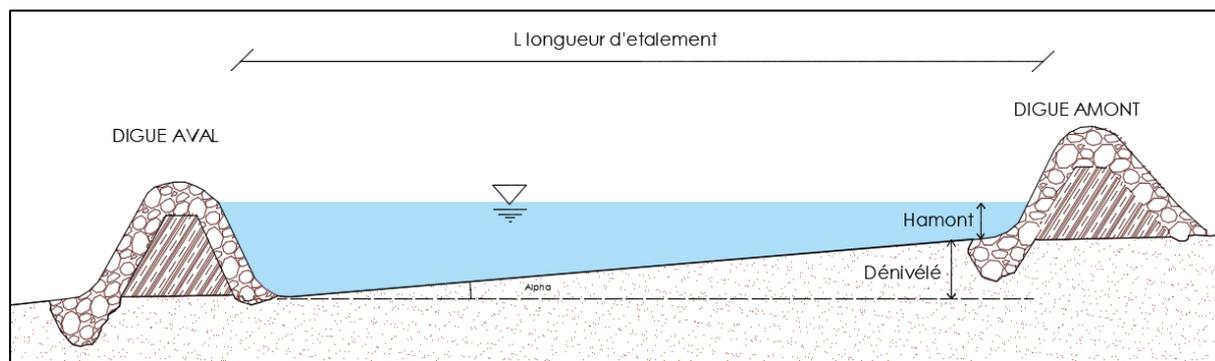


Figure 21 : illustration du cas 2

Dans cette configuration le volume stocké peut être assimilé au volume d'un prisme trapezoidale.

Le volume stocké est donc :

$$V_{Stocké} = \frac{(petite\ Base + grande\ base) \times hauteur}{2} \times largeur\ du\ bloc$$

$$V_{Stocké} = \frac{(2 \times H_{aval} - D_{é nivelé}) \times D_{é nivelé}}{2 \times pente} \times l$$

Cependant enfin de prendre en compte la réduction du volume engendrée par la pente transversale cette valeur sera réduite de moitié (FAO, s.d.), Dou :

$$V_{Stocké} = 0,5 \times \frac{(2 \times H_{aval} - D_{é nivelé}) \times D_{é nivelé}}{2 \times pente} \times l$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{Stocké} : le\ volume\ stocké\ (m^3) \\ H_{aval}: la\ hauteur\ au\ pied\ de\ la\ digue\ aval(m) \\ l : la\ largeur\ du\ bloc(m) \\ d_{é nivelé} : la\ difference\ de\ côtes\ entre\ les\ deux\ digues\ (m) \\ pente : la\ pente\ moyenne\ du\ bloc(m/m) \end{array} \right.$$

h. le debit de sortie Q_s Dans l'inter diguette

Le débit qui sort de l'inter-diguette est évalué par la relation suivante :

$$Q_s(m^3) = Q_{deversement}(m^3) + Q_{pertuis}(m^3)$$

6.2. Les Hypothèses et limites du modèle

6.2.1. Les Hypothèses du modèle

Comme dans toute représentation de la réalité, des hypothèses simplificatrices doivent être faites afin de limiter le nombre de données d'entrée. Notre modèle n'échappe pas à cette règle et est soumis aux hypothèses suivantes :

- L'écoulement dans le bas-fond se fait dans un seul sens, de l'amont vers l'aval. Nous négligeons ainsi l'écoulement transversal de l'eau ;
- Les calculs sont effectués en supposant que les pertuis de vidange et les digues sont dénoyés ;
- Le pas de calcul est un pas horaire ;
- Seule la pente sera utilisée pour représenter le terrain naturel ;
- Les digues sont supposées rectilignes et étanches ;
- Les écoulements de bases sont négligés.

6.2.2. Les limites du modèle

IL est important de noter que le présent modèle de simulation est un modèle purement exploratoire. En effet, plusieurs carences ne permettent pas de le valider en tant que modèle hydraulique :

- Des données pluviométriques et de débits insuffisantes (30 années minimum).
- L'absence d'une topographie assez fine afin de mieux représenter le bas-fond.

Autrement dit, les résultats de la simulation qui seront présentés ici sont donc à prendre avec beaucoup de réserve et n'ont aucune valeur de preuve.

6.3. Support de modélisation

La simulation des flux et stocks d'eau dans le bas-fond de Kankaniba sera codé sous Excel, essentiellement à partir des fonctions basiques d'Excel (Excel 2016) et avec une macro principale écrit en Visual basic qui permet d'automatiser les calculs.

La macro a pour but de calculer la hauteur H_{aval} dans l'objectif de vérifier le critère suivant :

$$\mathbf{Volume\ entrée(m^3) - Volume\ sortie(m^3) - Volume\ stocké(m^3) = 0}$$

Cela est possible grâce à la fonction *valeur cible*. La valeur cible étant 0 et le paramètre à calculer est La lame d'eau au pied de la digue *Haval* .

6.4. Evaluation des performances du modèle

L'évaluation des performances d'un modèle hydraulique est l'objet de calculs en général inspirés des méthodes statistiques visant à normaliser la comparaison entre le résultat de la simulation et les observations (SERVAT, DEZETTER, & LAPETITE, 1989). Plusieurs critères d'évaluation sont disponibles et il n'existe pas de méthodes universelles d'évaluation.

Pour notre modèle nous utiliserons cinq critères d'évaluation afin de mieux apprécier la performance de notre modèle :

- **Le critère de CREC**

$$i = \frac{1}{N} \times \sum_i^N \left(\left| 1 - \frac{h_s}{h_o} \right| * \left| 1 - \frac{h_o}{h_{mo}} \right| \right) \in [0; +\infty[$$

Cette expression tend vers 0 lorsque h_s tend vers h_o

- **Le critère de CRECBI**

$$i = \frac{1}{N} \times \sum_i^N \left(\left| 1 - \frac{h_s}{h_o} \right| \times \left| 1 - \frac{h_o}{h_{mo}} \right| \right) \times \left| \sum_i^N \frac{h_o - h_s}{h_{mo}} \right| \in [0; +\infty[$$

Cette expression tend vers 0 lorsque h_s tend vers h_o

- **Le critère de FORTIN**

$$i = \frac{1}{N} \times \sum_i^N \left| \frac{h_s - h_o}{h_o} \times \left(1 + \left| \frac{h_o - h_{mo}}{h_{mo}} \right| \right) \right| \in [0; +\infty[$$

Cette expression tend vers 0 lorsque h_s tend vers h_o .

- **Le critère de NASH**

$$i = 1 - \frac{\sum_i^N (h_s - h_o)^2}{\sum_i^N (h_o - h_{mo})^2} \in]-\infty; 1]$$

Cette expression tend vers 1 lorsque h_s tend vers h_o .

- **Le critère SExpER**

$$i = \frac{1}{N} \times \sum_i^N \exp \left(\frac{|h_s - h_o|}{h_o} \times \frac{h_o}{h_{mo}} \right) \in [1; +\infty[$$

Cette expression tend vers 1 lorsque h_s tend vers h_o .

Dans toutes ces expressions on a :

$$\left\{ \begin{array}{l} N \text{ le nombre d'observation} \\ h_s \text{ la lame d'eau simulée}(m) \\ h_o \text{ la lame d'eau observée}(m) \\ h_{mo} \text{ la lame d'eau moyenne observée}(m) \end{array} \right.$$

III. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Configuration de l'aménagement

La carte ci-dessous est le résultat du tracking du bas-fond de Kankaniba. D'une superficie de 46,17 ha pour un périmètre de 5,24 Km, le bas-fond présente une forme allongée en forme d'entonnoir, c'est-à-dire, plus large à l'amont et qui se rétrécit vers l'aval, ce qui a pour effet de concentrer les eaux dans la partie basse du bas-fond comme en témoigne la marre présente entre la deuxième et la troisième diguette. Cela explique aussi le fait qu'il n'y a pas de diguettes dans cette zone relativement vaste.

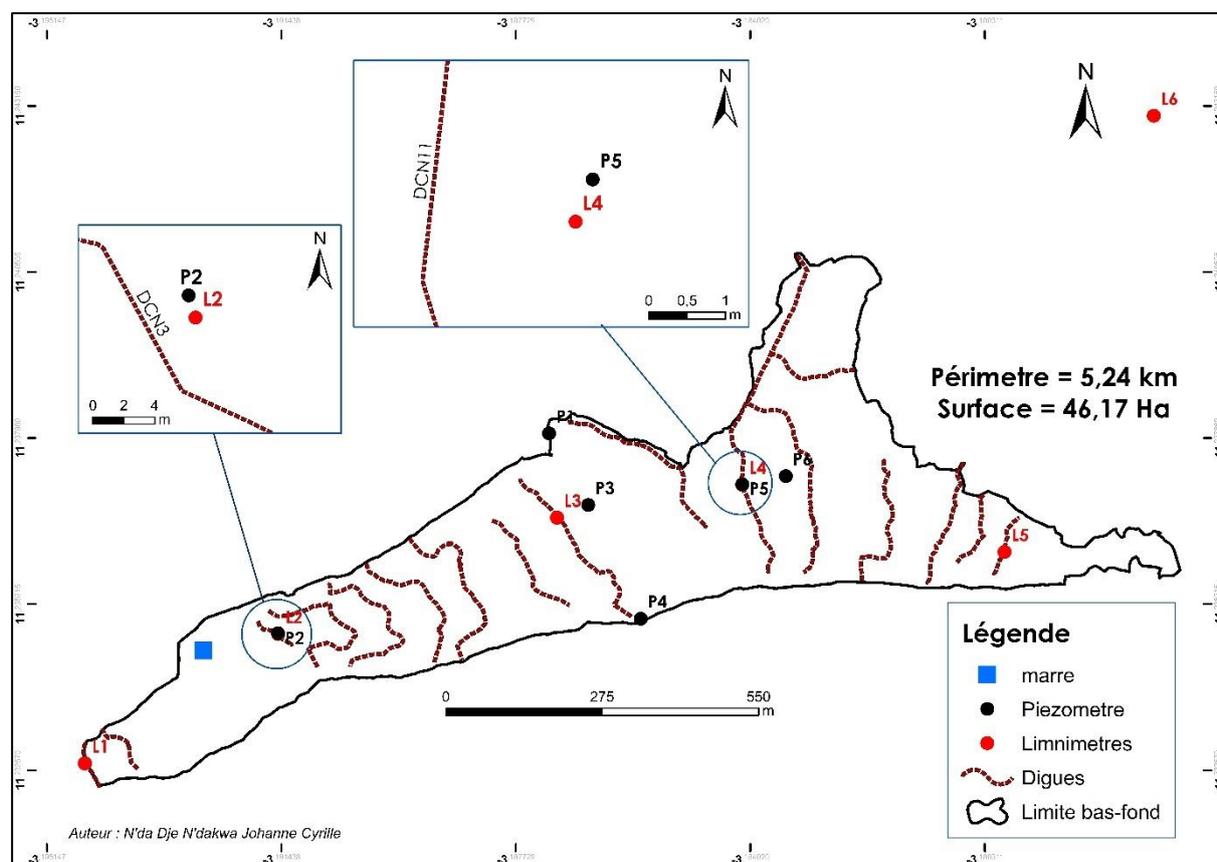


Figure 22 : présentation du bas-fond de Kankaniba et des instruments présents sur le site

Par ailleurs, bien que la taille des pertuis soit conforme aux recommandations du PAFR à savoir une largeur minimum de 60 cm, le nombre de pertuis des digues situées à l'aval (digue 1, 2, 3, 6) semble ne pas respecter les règles définies par le PAFR.

En effet, selon le PAFR le nombre de pertuis de vidange est déterminé selon la règle suivante :

- Lorsque la superficie cumulée en amont d'une DCN est inférieure ou égale à 10 ha, on place 2 pertuis sur cette DCN

- Si cette superficie cumulée est comprise entre 10 et 20 ha, la DCN comportera 3 pertuis.
- Lorsque la superficie cumulée est comprise entre 20 et 30 ha, la DCN comportera 4 pertuis.

Et ainsi de suite.

En tenant compte des critères ci-dessus et des informations du tableau précédant, on peut redéfinir le nombre des pertuis comme l'indique la dernière colonne du tableau ci-dessous :

Tableau 1 : caractéristiques des DCN+ Kankaniba

N° DIGUE	Dimensions		Surface inter diguette amont(ha)	SURFACE cumulée(ha)	Pertuis			Nombre de pertuis selon le PAFR
	Longueur(m)	Hauteur (m)			Hauteur (m)	Largeur (m)	Nombre Pertuis disponible	
DCN 1	169,33	0,5	0,57	41,47	0,5	0,6	3	≥5
DCN 2	116,15	0,5	4,45	40,9	0,5	0,6	3	≥5
DCN 3	146,81	0,5	0,84	36,45	0,5	0,6	3	≥5
DCN 6	383,82	0,5	1,76	32,55	0,5	0,6	4	≥5

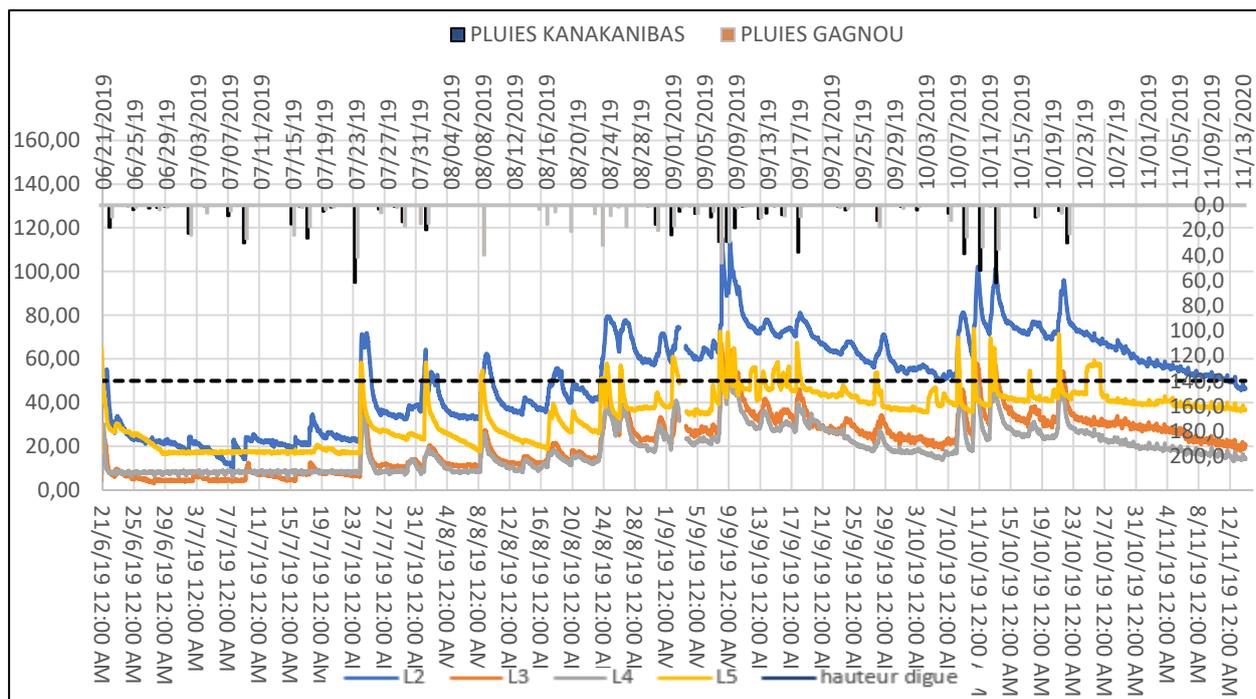
En effet les digues 1, 2 ,3 et 6 situées à l'aval du bas-fond dans la zone de la marre devrait avoir plus de pertuis pour pouvoir évacuer l'excès d'eau dû à l'effet entonnoir du bas-fond et la présence de la marre. Certes, les instructions du PAFR ne sont que des recommandations et ne sont pas restrictives, cependant, dans le cas du bas-fond de Kankaniba où nous sommes dans un contexte d'inondation, revoir à la hausse le nombre de pertuis peut contribuer à désengorger le bas-fond.

2. Analyse des données hydrauliques du bas-fond de Kankaniba

2.1. Les données limnimétriques et piézométriques

2.1.1. La limnimétrie

Après dépouillement et traitement des données piézométriques et limnimétriques, on dispose des valeurs réelles des lames d'eau ainsi que des profondeurs réelles de la nappe au niveau des instruments. Le graphique suivant combine les valeurs des lames d'eau au niveau des limnimètres, la pluie enregistrée à Kankaniba et à Gagnou ainsi que la hauteur des digues.



Graphique 3 : Graphique comparé des hauteurs d'eau enregistrée par les limnimètres

De manière générale pour toutes les limnimètres, on note une synchronisation de la variation de la lame d'eau et des événements pluvieux de même que leurs amplitudes. Ces variations entraînent souvent des élévations de la lame d'eau au-dessous des digues. Ces élévations du niveau de l'eau durent parfois plus de trois jours ce qui est nocif pour le riz. Plus précisément :

- Au L2 on note une élévation de la lame d'eau d'environ 22 cm au-dessus de la DCN 3 lors de la crue du 23 juillet 2019 (62 mm à Kankaniba et 42mm à Gagnoou). Cette élévation a duré environ 46 heures ce qui est bien inférieur à 72 heures. Cependant, du 23 août au 11 novembre, la lame d'eau reste au-dessus des 50 cm de la DCN 3 pendant toute cette période, atteignant parfois 65 cm au-dessus de la DCN 3. Ces valeurs de lame d'eau sont d'autant plus effrayantes qu'à cette période de la saison, la quasi-totalité des pertuis de vidange sont ouverts, autrement dit le drainage aurait dû être à son maximum. On peut néanmoins pointer du doigt la marre qui se trouvent entre le DCN 3 et la DCN 2. En effet cette marre pourrait ralentir le drainage des pertuis situés en amont de celle-ci
- Le L5 quant à lui, présente de nombreuses élévations de la lame d'eau au-dessus de la digue, surtout durant la période du 23 août au 23 Octobre, cependant ces variations ne durent guère plus de 12 Heures.
- Les limnimètres 3 et 4 présentent des lames d'eau largement inférieures à la hauteur de la digue même pendant les crues.

Le graphique 3 avait mis en lumière des poches de sécheresse. La première, dans les deux premières décades du mois d'août et une seconde poche de sécheresse d'une décade dans le mois de septembre. Cependant, aux vues des données limnimétriques, nous pouvons dire que l'aménagement a permis de palier à ces insuffisances. En effet, pendant la première poche du mois d'août les lames d'eau varient de 10 cm à 65 cm et pendant la seconde le bas-fond est quasiment inondé.

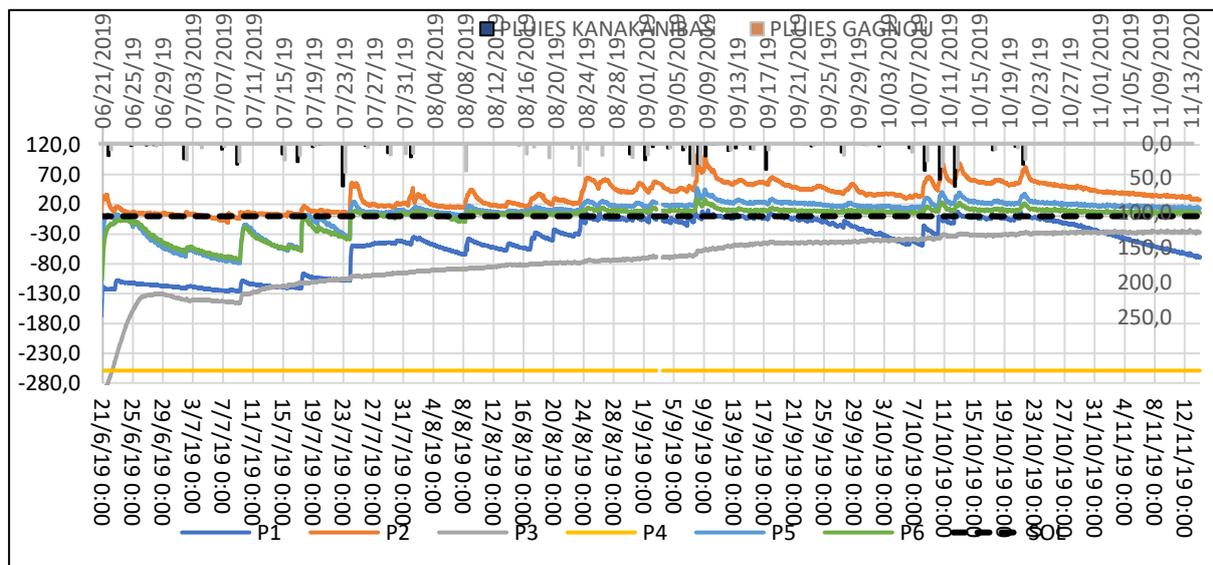
Une tendance se dégage quant à la distribution des lames d'eau d'amont en aval dans le bas-fond. L'analyse des valeurs de lames d'eau du limnimètre L2 est situé en aval du bas-fond montre que cette zone est une zone sérieusement engorgée. Le L5 plus en tête du bas-fond présente des lames d'eau avoisinant les 50 cm et dépassant celle-ci en période de crues mais pendant des durées inférieures à trois jours. Les limnimètres L3 et L4 au milieu du bas-fond nous montre une zone où les lames sont généralement bien en deca des digues c'est-à-dire 50 cm. En comparant ces résultats aux valeurs du tableau III on remarque :

- La zone aval où se situe L2, une zone engorgée est aussi la zone où les digues ont un nombre réduits de pertuis par rapport à ce que préconise le PAFR (tableau III).
- Les zones du milieu et amont relativement moins engorgés sont aussi celle qui présente un nombre de pertuis égale ou supérieur à celui que préconise le PAFR

2.1.2. La piézométrie

De manière générale pour tous les piézomètres on note une synchronisation de la variation du niveau piézométrique et des événements pluvieux de même que leurs amplitudes. A partir du 23 juillet, date où a eu lieu la crue la plus importante, le niveau de l'eau dans les piézomètres 2, et 6 passent au-dessus du TN et demeurent dans cet état jusque à la fin de la saison pluvieuse. Ce constat révèle une probable contribution de la nappe (écoulements hypodermiques) à l'élévation des lames d'eau dans le bas-fond notamment dans les zones où se situent ces piézomètres. Ce constat est confirmé par des valeurs de lames d'eau élevées dans ces zones comme le montre le graphique 3. En effet, le piézomètre 2 et le limnimètre 2 sont situés dans le même bloc, de même que le piézomètre 5 et le limnimètre 4. Il en ressort que ces valeurs extrêmes de lames d'eau enregistrées dans ces zones ne seraient pas dû essentiellement à un mauvais drainage au niveau des pertuis mais aussi à une remontée de la nappe (écoulements hypodermiques) dans les zones amont et aval.

Les piézomètres 1, 3 et 4 sont dans le même bloc et le graphique précédant nous montre que le niveau piézométrique est suffisamment en dessous du TN et les lames d'eau du limnimètre 3 aussi présent dans ce même bloc présentes des valeurs raisonnables bien en dessous des digues.

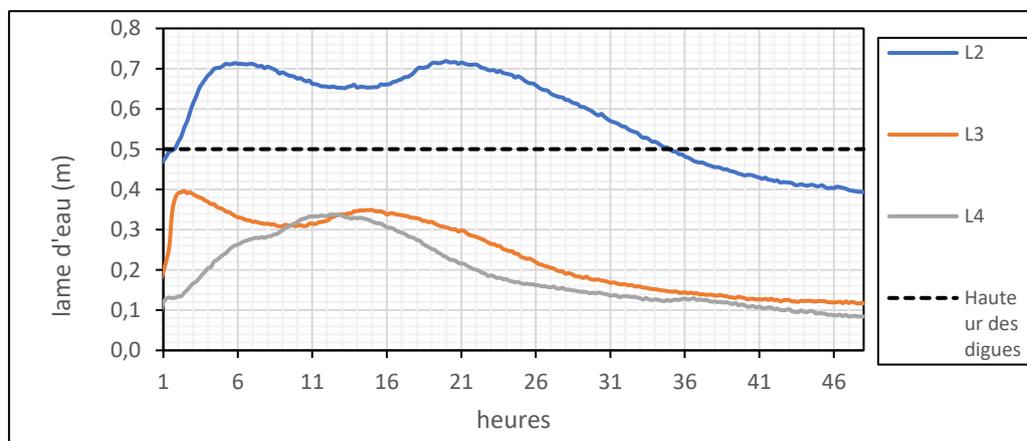


Graphique 2 : Graphique comparé des hauteurs piézométriques enregistrée.

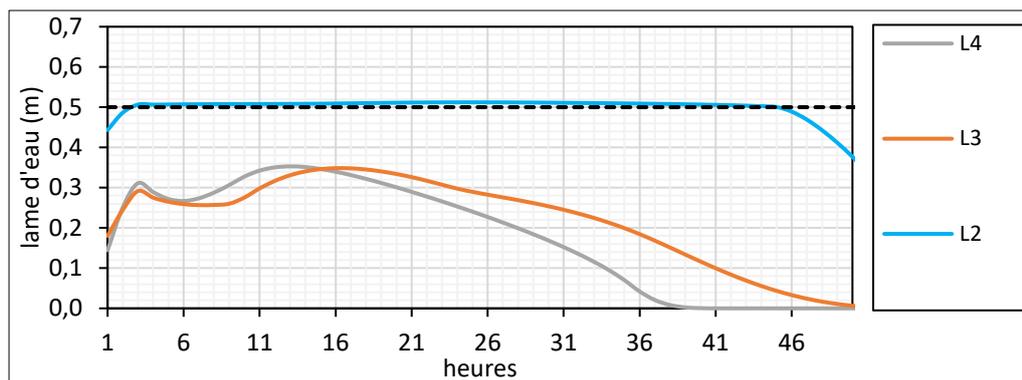
3. Simulation de crues sur le bas-fond de Kankaniba

3.1. Simulation de La crue du 23 juillet 2019

Les graphiques 5 et 6 représentent respectivement les résultats de la simulation hydraulique et les valeurs réelles mesurées par les limnimètres 2 3 et 4 lors de la crue du 23 juillet avec une hauteur d'eau moyenne tombée sur le bassin versant est de 52 mm pendant une durée de 3 heures. Ce qui revient à environ 17,3 mm /h avec un taux de décroissance du débit après la pluie de 70 mm/h. cette valeur a été estimée selon hydéogramme de crue des précipitations du bassin versant. Cette valeur qui était initialement de 121 m3/h a été revue à la baisse en vue de caler le modèle sur les valeurs données par les sondes.



Graphique 3 : lames d'eau observées pour les limnimètres L2, L3, L4



Graphique 4 : lames d'eau simulées pour les limnimètres L2, L3, L4

3.1.1. Commentaire sur les performances du modèle

Le tableau suivant nous montre les résultats du calcul des critères de performance

Tableau II : résultats du calcul des critères

Critères	L2	L3	L4
CREC	0,08	0,24	0,29
CRECBI	0,30	0,38	0,41
FORTIN	0,31	0,50	0,69
NASH	-1	0,37	0,01
SEXP	0,79	0,83	0,89

Globalement pour les trois Limnimètres on a de bons résultats en ce qui concerne les critères de CREC et de SExpER ; le premier converge vers 0 et le second est très proche de 1. Le critère de CRECBI donne des résultats plutôt moyens pour les trois limnimètres. Le critère de FORTIN quant à lui converge moyennement vers 0 pour le limnimètre L2 mais diverge fortement pour les limnimètre 3 et 4 ; enfin pour le critère de NASH on a de très mauvais résultats pour les trois limnimètres avec des valeurs très éloignées de 1.

Certes, s'il n'existe pas de règles permettant de se prononcer sur la pertinence d'un modèle aux vues des résultats des critères, cependant, trois des critères ici calculés donnent des bon résultats (CREC, CRECBI et SExpER). On peut donc conclure que le modèle est satisfaisant.

Néanmoins, on observe des différences entres valeurs observées et ceux simulées et ces différences s'expliquent par les éléments suivants :

- Le modèle ne tiens pas compte des écoulements hypodermiques qui remontent au niveau de la zone inter-diguette où se situe le limnimètre 2. Ce qui explique l'importance de la lame d'eau observée du limnimètre 2 par rapport à celle simulée.

- La simulation s'est faite en supposant que tous les pertuis sont ouverts. Ce qui n'est pas obligatoirement vrai. Ce qui explique que les lames d'eau simulée s'annulent à la fin.
- Le modèle ne prend pas en compte les écoulements de base, la décroissance est donc rapide contrairement aux lames d'eau observées.

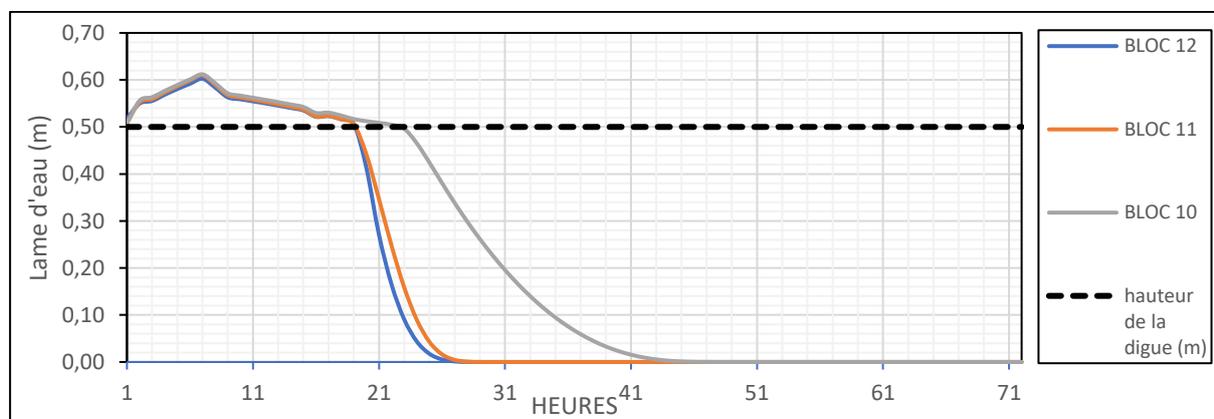
Malgré ces différences, on peut néanmoins apprécier avec ce modèle la distribution générales des lames d'eau dans le bas-fond.

3.2. Simulation pour une crue décennale humide

Les graphiques suivants représentent les résultats de la simulation avec une pluie décennale de hauteur d'eau 108 mm, d'une durée de 2 heures, le temps de concentration est pris égale au temps de monté 7 heures. La décroissance du débit après le temps de monté a été estimé avec la courbe de hydrogramme de crue et évaluée à 20233 m³/h pendant le temps de cassure puis à 3679 m³/h pour le reste du temps.

3.2.1. A l'amont du bas-fond

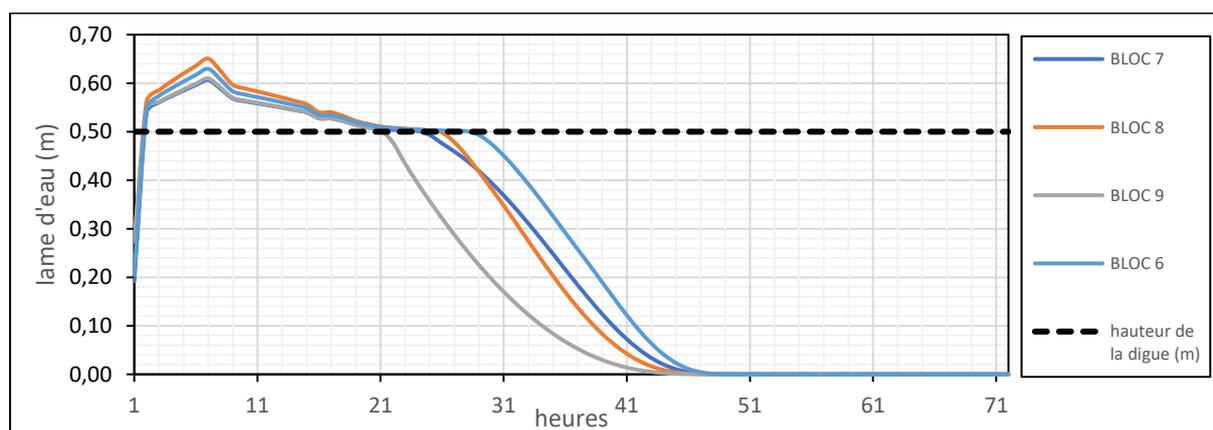
Au pic de la crue, on atteint des valeurs de lame d'eau de 60 cm ,61 cm et 60,9 cm respectivement pour les blocs 12, 11 et 10. Toutes les digues amont déversent pendant plus de 20 heures avec une hauteur de déversement respectivement de 10 cm, 11 cm et 10,9 cm. La limite autorisée qui est de 10cm est atteinte avec des débits de déversement au pic de la crue respectivement de 54,14 l/s/ml, 64,67 l/s/ml et 63,89 l/s /ml largement supérieurs à la limite autorisée qui est de 40 l/s. avec de telles débits, la stabilité des digues est menacée. Néanmoins, Le bloc amont se vide en environ 41 heures. Ce temps, relativement inférieur à celui de la crue du 23 juillet s'explique par le fait qu'une crue décennale dure moins longtemps, avec un temps de monté plus court.



Graphique 5 lame d'eau simulée pour les blocs à l'amont

3.2.2. Au milieu du bas-fond

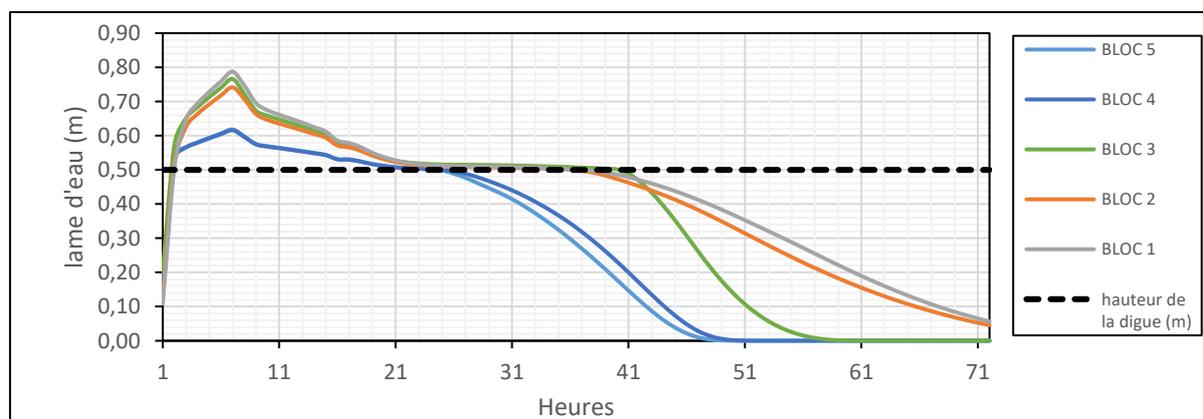
Toutes les digues du milieu déversent avec une hauteur de déversement respectivement de 10,3 cm, 15 cm et 10 cm et 12,5 cm ce qui entraîne des débits de déversement au pic de la crue respectivement de 57 l/s/ml, 91 l/s/ml et 51,5 l/s/ml et 72,7 l/s/ml, des débits supérieurs à la limite autorisée qui est de 40 l/s. Néanmoins le bloc amont se vide en environ 46 heures.



Graphique 6 : lame d'eau simulée pour les blocs du milieu

3.2.3. À l'aval du bas-fond

A ce niveau on atteint des hauteurs de déversement très élevée, respectivement de 11 cm, 11 cm, 26 cm, 24 cm et 28,4 cm pour les blocs 5 ,4 ,3 ,2 ,1, ce qui entraîne des débits de déversements au pic de la crue respectivement de 62 l/s/ml, 60 l/s/ml et 157 l/s/ml et 183 l/s/ml, et 235,9 l/s/ml, des débits très largement supérieurs à la limite autorisée qui est de 40 l/s/ml. Néanmoins Le bloc amont se vide en moins de 72 heures.



Graphique 7 : lame d'eau simulée pour les blocs à l'aval

En résumé on peut retenir que l'aménagement est capable de manière générale d'évacuer une crue décennale dans le délai de 72 heures. Néanmoins de fortes hauteurs de déversement au-dessus des

digues à l'aval du bas-fond allant jusqu'à 28,4 cm avec de débit atteignant 235,9 l/s/ml peuvent nuire à la stabilité des digues.

4. Impact de l'aménagement sur la culture du riz dans le bas-fond de Kankaniba

Suite aux nombreuses difficultés rencontrées dans le suivi des parcelles, les données récoltées ne concernent que cinq (05) semaines, ce qui est largement inférieur à la durée moyenne du cycle du riz égale à cent vingt (120) jours c'est-à-dire seize (16) semaines. D'autre part, nous avons perdus plusieurs parcelles à cause de la présence de pêcheurs qui enlevaient nos piquets. Ainsi, les données recueillies en plus d'être insuffisantes relativement par rapport à la durée du cycle de la plante, sont réduites du fait de ces pertes. Nous nous sommes donc contentés des valeurs des rendements récupérées avec Mr Georges SERPENTIER de l'IRD en charge du suivi agronomique de ces parcelles. Seules les données du rendement seront présentées ici.

Le tableau suivant présente les rendements moyens par zone (amont, milieu, aval). Les détails sur les rendements individuels sont donnés en annexe 6.

Tableau III : rendement des parcelles suivis

Position	Moyenne rendement (t/ha)	Ecart-Type (t/ha)
AMONT	1,5	0,71
MILIEU	1,6	1,02
AVAL	1,6	0,80

Cependant avant toutes analyses, il est important de préciser certaines carences qui donnent aux résultats qui suivent un caractère subjectif. En effet, l'utilisation des indicateurs relatifs tels que l'écart-type suggère au préalable la normalité des données ce qui peut être assurée avec une population supérieure ou égale à 30 individus d'après le théorème centrale limite. Dans notre étude, nous avons 28 parcelles, ce nombre est bien inférieur aux 30 parcelles requises. D'autre part, nous n'avons pas eu accès aux données relatives aux écarts entre les différents carrés de rendement réalisés dans chaque parcelle autrement dit, impossible donc de déterminer les écarts à l'intérieur d'une même parcelle. Ainsi, les analyses suivantes ont donc un caractère purement subjectif.

A première vue, les rendements (colonne 2) ne semblent pas montrer de variations significatives en fonction de la position dans bas-fond. Autrement dit, l'état hydrique semble peu influencer sur le rendement d'une parcelle selon qu'elle se situe en zone amont, milieu ou aval. Néanmoins ces

valeurs de rendement restent très inférieures à ce que donnent en moyenne les bas-fonds aménagés dans cette région (environ 3 t/ha) (Serpentié, Dorée, & Fusillier, 2019).

Les valeurs d'écart-types (colonne 3) montre de manière générale une très forte hétérogénéité des rendements à l'intérieur même de chaque zone, avec une plus forte hétérogénéité pour les parcelles du milieu, celles situées à l'aval en seconde position et enfin celle de l'amont ayant le plus faible écart.

Ces variations de rendement sont essentiellement dues au fait que les parcelles suivies ne bénéficient pas tous de même conditions spatiales et hydriques lesquelles conditions impactent significativement le rendement. En effet, on peut distinguer globalement deux types de parcelles : les parcelles situées plus ou moins au centre de l'inter-diguette et celles situées sur les bords appelés franges. Le second groupe bénéficie de conditions particulières : elles sont rarement submergées à cause de la pente transversale, elles se désengorgent toutes aussi vite, et elles sont surtout faciles d'accès, des conditions moins sévères par rapport à l'ensemble du bas-fond qui impact sur le rendement. Le tableau suivant donne la répartition des deux types de parcelles dans le bas-fond.

Tableau IV : classification des parcelles par zone

Position	Moy rendement (t/ha)	Ecart(t/ha)	Parcelles franges			Parcelles centrales		
			% parcelles franges	Moy rendement (t/ha)	Contribution des parcelles franges aux rendements (%)	% Parcelle normale	Moy rendement (t/ha)	Contribution des parcelles franges aux rendements (%)
AMONT	1,5	0,71	27	2,12	39	63	1,24	61
MILIEU	1,6	1,02	50	2,15	69	50	0,95	31
AVAL	1,6	0,80	80	1,87	94	20	0,51	6

On constate la très grande différence de rendement entre ces deux types de parcelles. Dans la zone aval, les parcelles franges atteignent des rendements près de 4 fois supérieurs aux parcelles centrales, tandis qu'ils avoisinent approximativement le double dans les zones amont et milieu. Autrement dit l'Etat hydrique du bas-fond a un impact réel sur le rendement. On le voit puisque les valeurs des contributions de chacun des types de parcelle le montre. Les parcelles franges contribuent à 39% du rendement de la zone amont, 69% de la zone du milieu et 94% de la zone aval. A l'opposé les parcelles centrales ont des rendements très faibles (colonne 8) par rapport à la moyenne allant

jusqu'au tiers du rendement moyen pour la zone aval, zone la plus engorgée, et environ la moitié pour la zone du milieu. Ce sont ces parcelles qui nous intéressent car on y retrouve les valeurs des lames d'eau simulées par le modèle.

Ainsi en l'absence de ces parcelles dite de franges, il semblerait que le rendement de la zone amont serait le plus élevé tandis que celui des zones aval et du milieu le serai moins.

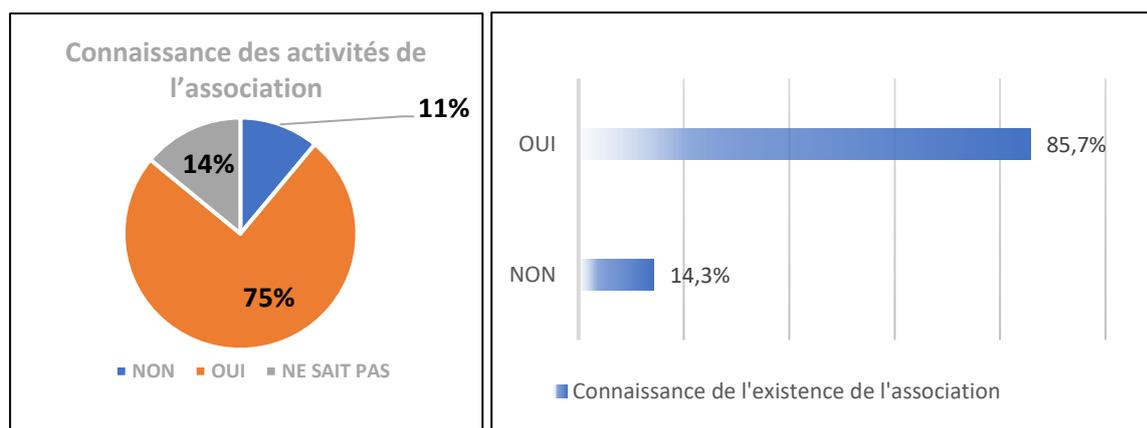
5. Les pratiques et règles de gestion de l'aménagement par les paysans

Les enquêtes se sont déroulées du 15 octobre au 27 décembre et ont concernés les paysans propriétaires des 28 parcelles suivies.

5.1. Statistique descriptive et analyse des écarts

5.1.1. Organisation des paysans

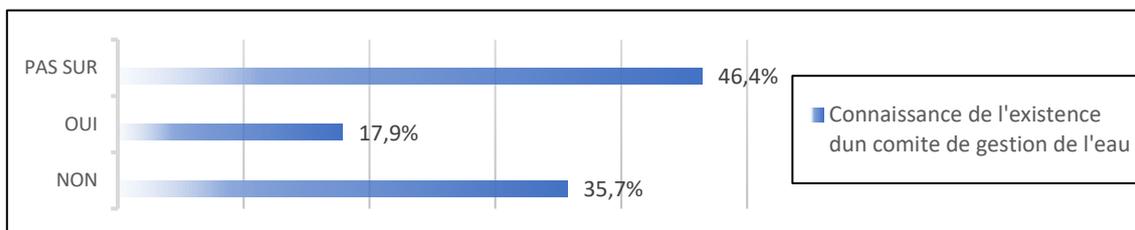
Les paysans du bas-fond de Kankaniba sont regroupés en association avec à sa tête une femme actuelle présidente de l'association. Cependant, l'existence de cette association ne fait pas l'unanimité auprès des paysans. Ainsi, 85% des enquêtés affirment savoir qu'il existe une association contre 14% qui les nient. Quant aux activités menées par l'association, seuls 75% des enquêtés ont connaissance et y participent contre 25% qui nient la tenue de ces activités, et donc ne participent pas or, on y donne des instructions sur les bonnes pratiques concernant la gestion de l'aménagement. Ceux qui n'y participent pas ne sont donc pas informés de ces bonnes pratiques



Graphique 8 : avis de enquêtés sur l'existence de l'association et leur participation aux activités de celle-ci

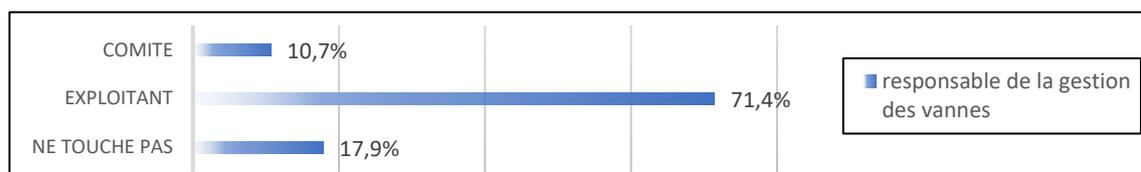
5.1.2. La gestion de l'aménagement

- Le graphique ci-dessous indique qu'il n'existe pratiquement pas de comité de gestion de l'eau. C'est à dire, un groupe de personne qui ont la responsabilité de gérer les pertuis afin de répondre aux demandes en eau des parcelles.



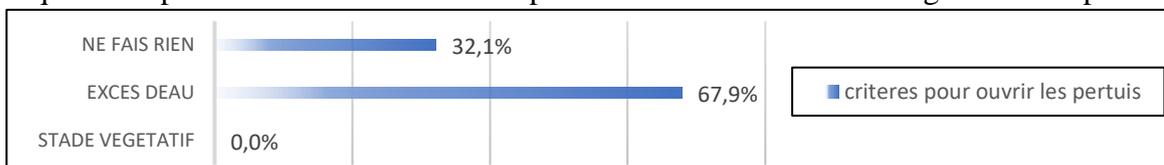
Graphique 9 : avis des enquêtes sur l'existence d'un comité de gestion de l'eau

- Le graphique ci-dessous quant à lui vient confirmer le fait évoqué avec le graphique précédent en indiquant qu'une forte majorité des enquêtés gèrent eux même leurs pertuis c'est dire que la décision d'ouvrir ou non un pertuis leur incombe.

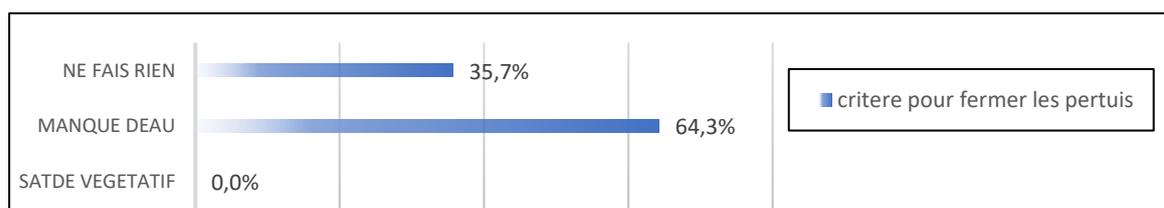


Graphique 10 : avis des enquêtes sur le responsable de la gestion des pertuis

- Lorsqu'on pose la question de savoir : Sur quelle base ils ouvrent et ferment les pertuis ? on constate que 68% ouvrent pour palier à un excès d'eau contre 32 % ne font rien et 64% pour palier à déficit d'eau contre 36% qui ne font rien. Les raisons évoquées par ceux qui ne touchent pas aux pertuis ni pour ni pour fermer sont diverses. Pour certains, leurs parcelles est trop éloignée de la digue aval, pour d'autres, ils laissent cette tache au comité. Par contre, aucun des enquêtés ne prétend ouvrir ou fermer les pertuis en fonction du stade végétatif de la plante.

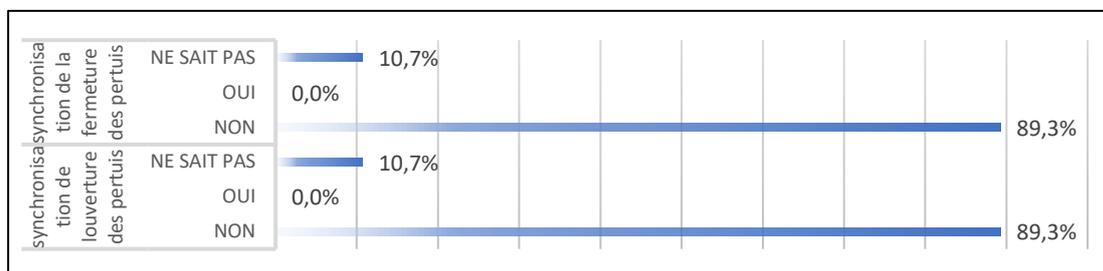


Graphique 11 : avis des enquêtes sur les critères d'ouverture des pertuis



Graphique 12 : avis des enquêtes sur les critères de fermeture des pertuis

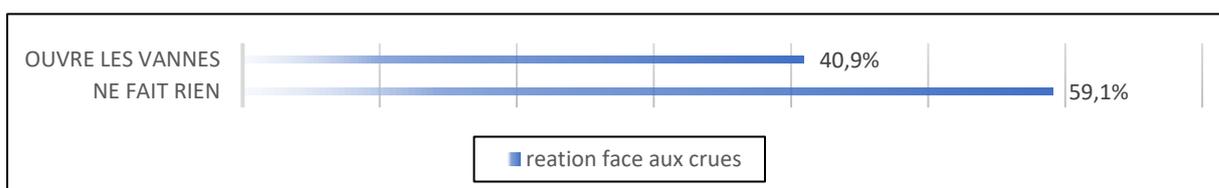
- A la question de savoir si la décision d'ouvrir ou de fermer les pertuis se faisait simultanément sur tout le bas-fond les enquêtés répondaient majoritairement non, chacun décide pour sa parcelle sans demander l'avis du propriétaire de la parcelle amont à l'aval directement affectée.



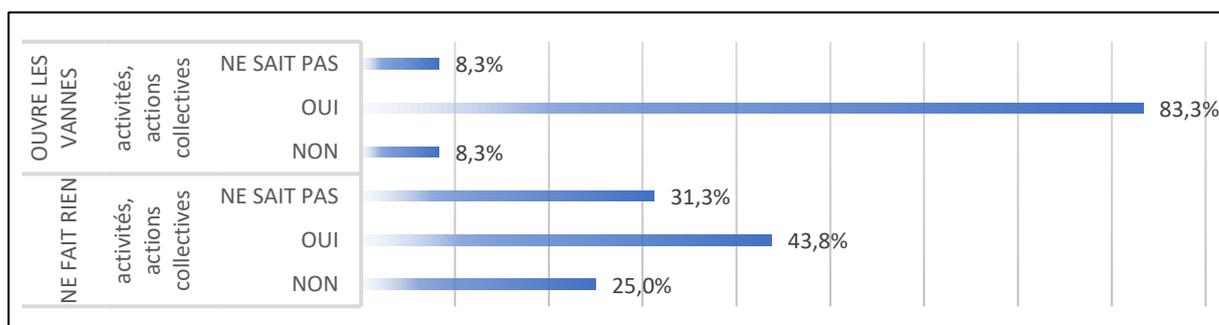
Graphique 13 : avis des enquêtes sur la synchronisation des actions d'ouvertures et de fermetures de tous les pertuis sur le bas-fond

5.1.3. Réactions face aux crues

- Les crues sont des évènements courants dans le sud-ouest, et la réaction face à ces évènements par les paysans peut être déterminant dans le bon fonctionnement de l'aménagement. Le graphique ci-dessous nous montre que 59% de enquêtés prétendent ne rien faire lors de ces évènements contre 41% qui prétendent ouvrir les vannes juste après la crue. Ces différentes réactions est lie directement au fait d'assister aux réunions et activités de l'association comme le montre le graphique 23. En effet 83% des ceux qui participent aux réunions de l'association, ouvrent les vannes pendant les crues, contre 44% pour ceux qui n'y participent pas.

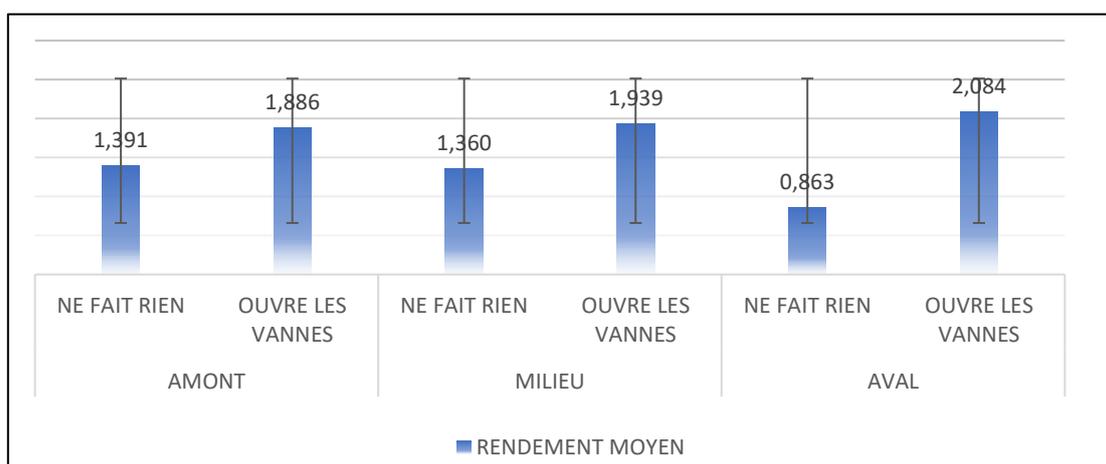


Graphique 14 : réaction face aux crues



Graphique 15 : Avis sur la participation aux activités de l'association selon leurs réactions aux crues

- Les répercussions de ces différentes réactions sur le rendement des parcelles sont visibles avec le graphique 23 où l'on voit que les parcelles appartenant au enquêtés ouvrant les vannes juste après une crue ont un bien meilleur rendement et ce quelle que soit la position dans le bas-fond. Autrement dit même dans les zones milieu et aval qui sont engorgées selon les résultats de la simulation, l'action d'ouvrir les vannes après la crue contribue à augmenter le rendement de façon significative.



Graphique 16 : impact de la réaction face aux crues sur le rendement selon la position dans le bas-fond des 28 parcelles

5.2. Analyse de la variance à un facteur

Les précédentes analyses bien que pertinentes ne permettent pas à eux seules de conclure à propos de l'impact de la gestion de l'aménagement sur le rendement car d'autres facteurs tels que (la date des semis, le désherbage, la fertilisation...) ont aussi un impact sur le rendement.

L'analyse de la variance (ANOVA) permet de dire si les différences observées entre les moyennes sont significatives avec un seuil de Significativité de 95%. Nous avons donc réalisé une ANOVA avec les caractéristiques suivantes :

- Variable dépendante : *les rendements*
- Variable indépendante : *la réaction des producteur face aux crues*
- Hypothèse nulle H_0 :
« *les rendements ne varient pas en fonction de la reaction face aux crues* »
- Seuil de significativité : 0,05

Le tableau suivant présente les résultats de l'ANOVA.

Tableau V : Résultat de l'ANOVA

	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Sig.
Intergroupes	2,838	1	2,838	4,918	0,036
Intragroupes	15,002	26	0,577		
Total	17,840	27			

La valeur signification « Sig » est de **0,036** est très inférieure au seuil de significativité qui est de **0,05** on peut donc rejeter l'hypothèse H_0 , autrement dit les rendements varient en fonction des réactions des paysans face aux crues. Ainsi les déductions précédentes faites dans la description des écarts, en occurrence, l'impact de la réaction des paysans faces aux crues sur le rendement sont justifiées.

5.3. D'autres mauvaises pratiques constatées dans le bas-fond

Ces pêcheurs utilisent des moustiquaires qu'ils fixent aux pertuis dans le but de piéger les poissons qui y passent. Cependant cette pratique étrave fortement la circulation de l'eau dans les pertuis. En effet avec le temps les moustiquaires se bouchent du fait de la prolifération des algues sur ces moustiquaires. Ces dernières deviennent quasiment étanches à l'eau et entravent le passage de l'eau à travers les pertuis. Quasiment tous les pertuis en sont équipés ce qui contribue fortement à l'étranglement du bas-fond.

D'autre part, certains paysans eux-mêmes créent des brèches dans les digues pour palier au problème d'engorgement de leurs parcelles. Ces actes de vandalisme, en plus de perturber l'écoulement des eaux dans le bas-fond montrent l'inefficacité de l'association sensée gérer le bas-fond.

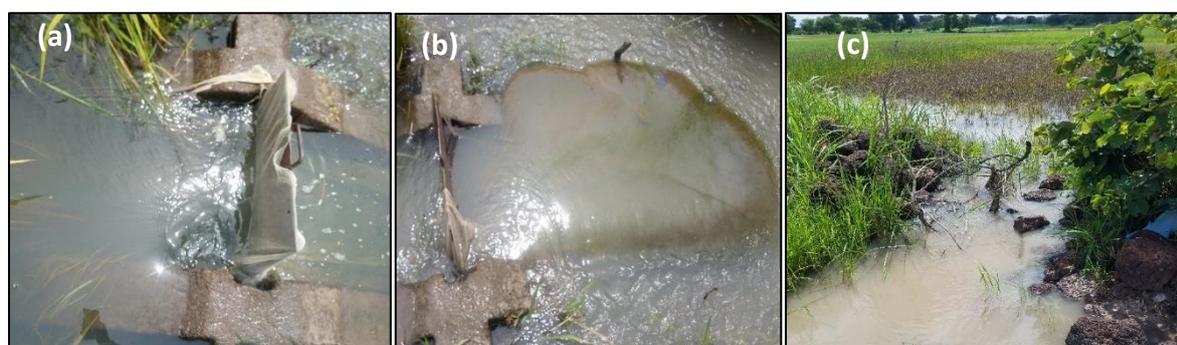


Figure 23 : (a) pertuis recouvert de moustiquaire (b) moustiquaire infestée d'algues et de mousses ralentissant le mouvement de l'eau (c) : brèche ouverte dans une digue par un paysan

IV. CONCLUSION

Au terme de l'étude, il en ressort les éléments suivants :

Premièrement, l'analyse de la configuration du bas-fond fait ressortir des caractéristiques naturelles du bas-fond qui ne favorisent pas le bon fonctionnement de l'aménagement. En effet la forme très caractéristique du bas-fond c'est à dire allongée et en forme d'entonnoir a tendance à concentrer et à ralentir les eaux dans cette partie basse entraînant irrémédiablement la montée des eaux dans tout le bas-fond. Le bas-fond de Kankaniba est aussi le lieu de nombreuse marre sacrées dont la plus marquée est celle présente à l'aval qui vient encore accentuer l'engorgement du bas-fond. Ajouter à cela des pertuis en nombre insuffisant dans cette même partie ce que ralenti encore plus les écoulements.

D'autre part l'analyse de la limnimétrie et de la piézométrie révèle que pour cette campagne 2019 l'aménagement a bien répondu aux exigences en eau des cultures. Cependant en termes de fonctionnalité on a à l'aval, des lames d'eau largement au-dessus des 50 cm. En occurrence au niveau de la digue 3, la lame d'eau dépasse les 50 cm au-dessus de la digue et y reste pendant plus de 2 mois. Cela s'explique d'une part, par des remontées de la nappe hypodermique, et d'autre part à la forme entonnoir de cette partie du bas-fond. Dans la zone amont on avoisine les 50 cm seulement en cas de crue. Quant à la partie du milieu, les lames d'eau sont raisonnables.

La simulation quant à elle nous a montré que même si la durée maximale de vidange qui est de 3 jours est respectée les vitesses de ruissèlement au-dessus des digues sont très élevées ce qui pourraient nuire à la stabilité de celles-ci.

L'analyse des rendements des 28 parcelles semblent s'aligner les analyses précédentes en montrant au travers des rendement l'impact négatif de l'égorgement du bas-fond sur le rendement des parcelles. Lorsqu'on se focalise sur les parcelles situées dans l'axe d'écoulement, la zone aval présente les rendements les plus bas à cause des lames d'eau élevées qui ne permettent un bon développement des plantes. Les zones du milieu et amont ont des rendements plus élevés.

Les enquêtes ont finalement révélé des caractères et des réactions chez le paysan qui peuvent expliquer dans une certaine mesure les dysfonctionnements. On note que les paysans ne sont pas vraiment structurés ou que l'association des paysans n'existe que de nom n'ayant presque pas d'activités permettant d'informer les paysans des bonnes pratiques de gestion. Cependant l'action la plus impactante sur le rendement des plantes est sans doute leurs réactions face aux crues.

L'enquête a montré que bon nombre d'entre eux n'ont pas le réflexe de se rendre au bas-fond pendant ou juste après la crue pour ouvrir les vannes.

En d'autres termes, les digues, au travers des pertuis, arrivent effectivement à évacuer les crues en moins de trois jours avec toutefois des lames d'eau très élevées, surtout dans la partie aval. Cependant, ces lames d'eau très élevées sont dû à des caractéristiques naturelles désavantageuses et à des mauvaises pratiques de gestion plutôt qu'à une incapacité des pertuis à évacuer les eaux du bas-fond.

V. RECOMMANDATIONS

Certes, les conclusions faites précédemment n'ont pas valeur de preuve compte tenu du caractère exploratoire de l'outil de simulation, du caractère subjectif des analyses des rendements et des résultats de l'enquête, cependant, les recommandations suivantes, si elles sont mises en œuvre, contribueraient à améliorer les conditions hydrauliques du bas-fond de Kankaniba.

Au niveau de la configuration du bas-fond, afin de réduire l'engorgement du bas-fond lié à celle-ci il faudrait :

- Augmenter le nombre de pertuis sur toutes les digues de la zone aval.
- En début de chaque campagne combler avec du remblai toutes les mares présentes dans le bas-fond.
- Réaliser des études topographiques afin de déterminer l'axe d'écoulement de façon plus précise et augmenter la taille des pertuis situés sur l'axe ou en créer de plus grand s'il n'en existe pas. Ceci afin de vidanger plus rapidement le bas-fond.
- Cependant envisager la construction d'un canal central le long de l'axe d'écoulement pourrait être la solution la plus efficace pour lutter contre l'engorgement.

Au niveau des pratiques culturelles les paysans pourraient :

- Adopter des variétés plus résistantes à la submersion.
- Commencer les semis très tôt ainsi lorsque surviendra les fortes crues les plantes seront suffisamment grandes et pourront mieux résister à celle-ci.

Enfin sur le plan associatif, l'association devrait améliorer sa stratégie de gestion de l'aménagement, pour cela elle devrait :

- Disposer d'un organe de gestion de l'eau qui en cas de crue est chargé d'ouvrir les pertuis.
- Organiser des réunions en début de saisons afin s'accorder à semer tous au même moment.
- Organiser fréquemment des séances de formations afin de former les paysans aux bonnes pratiques.
- Imposer des sanctions sévères aux casseurs de digues, aux pêcheurs et à tous autres personnes posant actes nuisibles à l'aménagement.

VI. BIBLIOGRAPHIE

Citations articles scientifiques

- Lidon, B. (1998). Le diagnostic rapide de pré-aménagement (Diarpa). Un outil d'aide à l'aménagement des zones de bas-fonds. Agriculture et Développement.
- Pouyaud, B. (1977). Etudes de l'évaporation d'un lac en climat soudano-sahélien: le lac de Bam (Haute-Volta). Horizon pleins textes.
- Serpentié, G., Dorée, A., & Fusillier, J.-L. (2019). Nouveaux risques dans les bas-fonds des terroirs soudanais. Une étude de cas au Burkina Faso. Cahiers Agricultures, 28.

Citations livres

- Agbegnido, M. (2012). Guide d'aménagement sommaire des terres humides. CIDR.
- Barnabé, O. S. (2016). Etude d'extension d'aménagement des bas-fonds rizicoles de type pafr.
- Baume, Gilles Belaud, & Pierre-Yves-Vion. (2013). Hydraulique pour le génie rural
- Davy, B. K. (2007). Etudes d'aménagement du bas-fond de tô dans la province de la Sissili.
- FAO. (2012). Analyse des incitations et pénalisations pour le riz au Burkina Faso.
- FAO. (1998). Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche.
- IRD. (2007). Formation en hydrométrie.
- Keita, A. (2018). Localized Irrigation.
- Mietton M. (s.d.). Méthodes et efficacités de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso.
- Ouedraogo, D. (2019). Etude d'aménagement de bas-fond rizicole de 20 ha de type pafr à Tanibiaga, province de la Gnagna.
- Servat, E., Dezetter, A., & Lapetite, J. (1989). Etudes et sélection des critères de calage des modèles "pluies-débits".
- Tourou, B. M. (Juillet 2019). Diagnostics rapides des aménagements de Kombazien et de Kankaniba.
- UICN. (2011). Catalogue de bonnes pratiques d'adaptation au Burkina Faso.

Sites internet

- FAO. (s.d.). La topographie: Lèves topographiques. Consulté le février 09, 2020, sur www.fao.org

VII. ANNEXES

ANNEXE 1 : Pluies maximales journalières de 1986 à 2016 de la station de la météo national de Gaoua

Années	Pluies maximales journalières (mm)	Cumuls annuelles (mm)
1986	65,1	1150,4
1987	79,5	1075,8
1988	97,5	1089,1
1989	51,5	1179,2
1990	80,1	1006,5
1991	135,6	1435,6
1992	154,4	917,3
1993	53	955,4
1994	53,5	963,7
1995	81,7	1093
1996	94,7	1183,9
1997	80,4	1125,4
1998	82,1	925,1
1999	48,8	1307,6
2000	62,4	1255,9
2001	123,9	1048,6
2002	56,1	971,8
2003	79,3	1143,2
2004	49,5	1066,6
2005	57,1	901,4
2006	67,2	1201,4
2007	73,9	900,8
2008	57,3	981,7
2009	66,2	1267,6
2010	86,4	1113,7
2011	56,5	910,6
2012	55,7	1072,1
2013	62,6	1036,1
2014	95,4	1136,9
2015	72,4	1126,3
2016	53,5	1104,8
Pluie annuelle moyenne(mm)		1085,40

ANNEXE 2: Pluies journalières, Bilan climatique et Evaporation lac

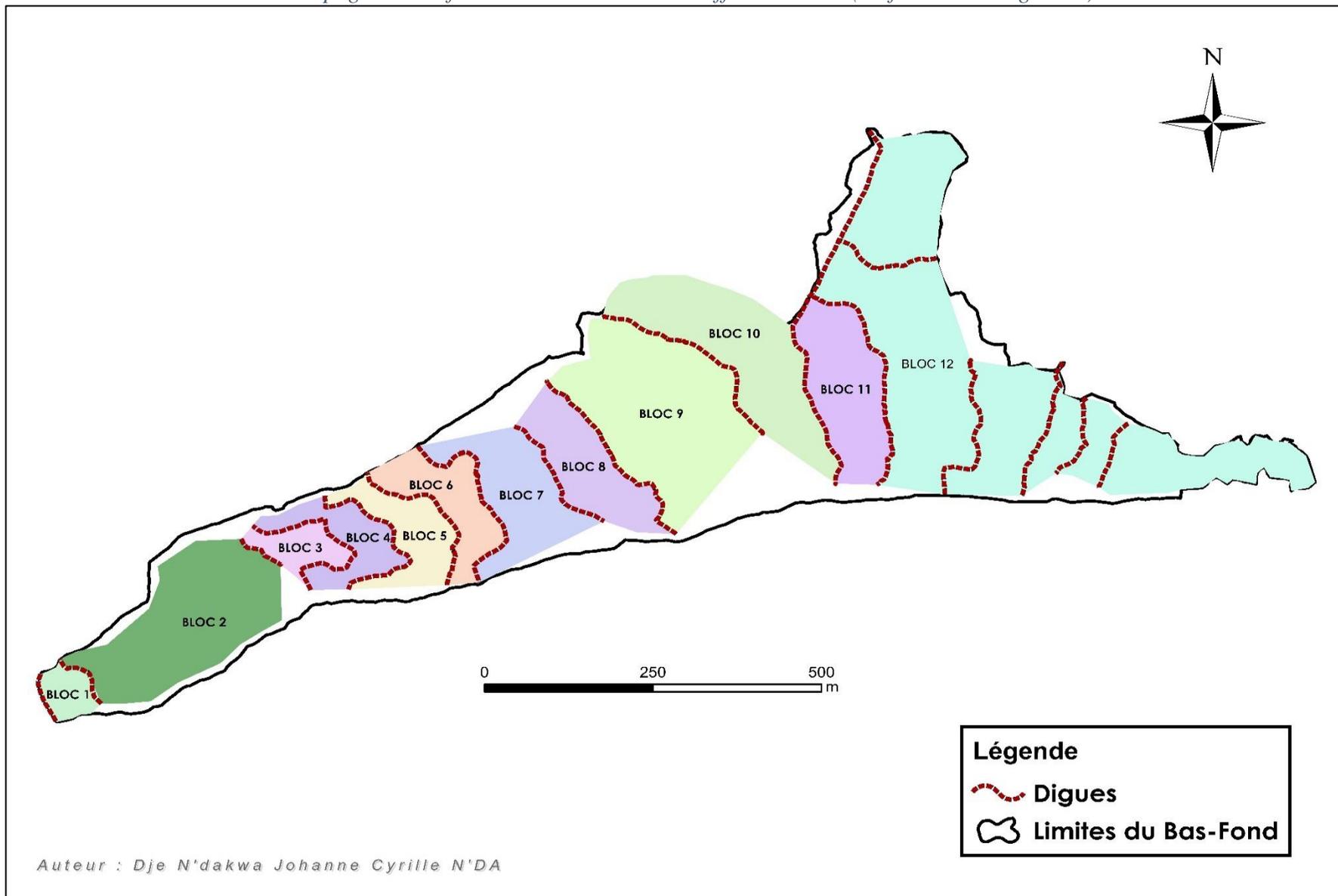
• Pluies journalières

DATE	PLUIES	
	KANAKANIBAS	GAGNOU
06/20/19	36,6	17,4
06/21/2019	0,0	0
06/22/19	17,8	9,6
06/23/19	0,2	0
06/24/19	0,0	1,2
06/25/19	3,8	2
06/26/19	0,0	0
06/27/19	2,6	0
06/28/19	2,0	4,2
06/29/19	1,2	1,8
06/30/19	0,0	0
07/01/2019	0,0	0
07/02/2019	22,6	24,2
07/03/2019	0,0	0
07/04/2019	0,8	6,6
07/05/2019	0,0	0
07/06/2019	0,0	0
07/07/2019	8,8	4,8
07/08/2019	0,0	0
07/09/2019	30,2	27
07/10/2019	0,2	0
07/11/2019	0,0	0
07/12/2019	0,0	0
07/13/2019	0,0	0
07/14/2019	0,0	0
07/15/19	15,4	24,2
07/16/19	1,0	2
07/17/19	26,4	17,6
07/18/19	0,4	0
07/19/19	5,2	3,6
07/20/19	1,8	1,8
07/21/19	0,2	0
07/22/19	0,0	0
07/23/19	61,8	41,6
07/24/19	0,2	0,2
07/25/19	0,0	0
07/26/19	3,4	6,4
07/27/19	0,0	0
09/06/2019	9,8	5,4

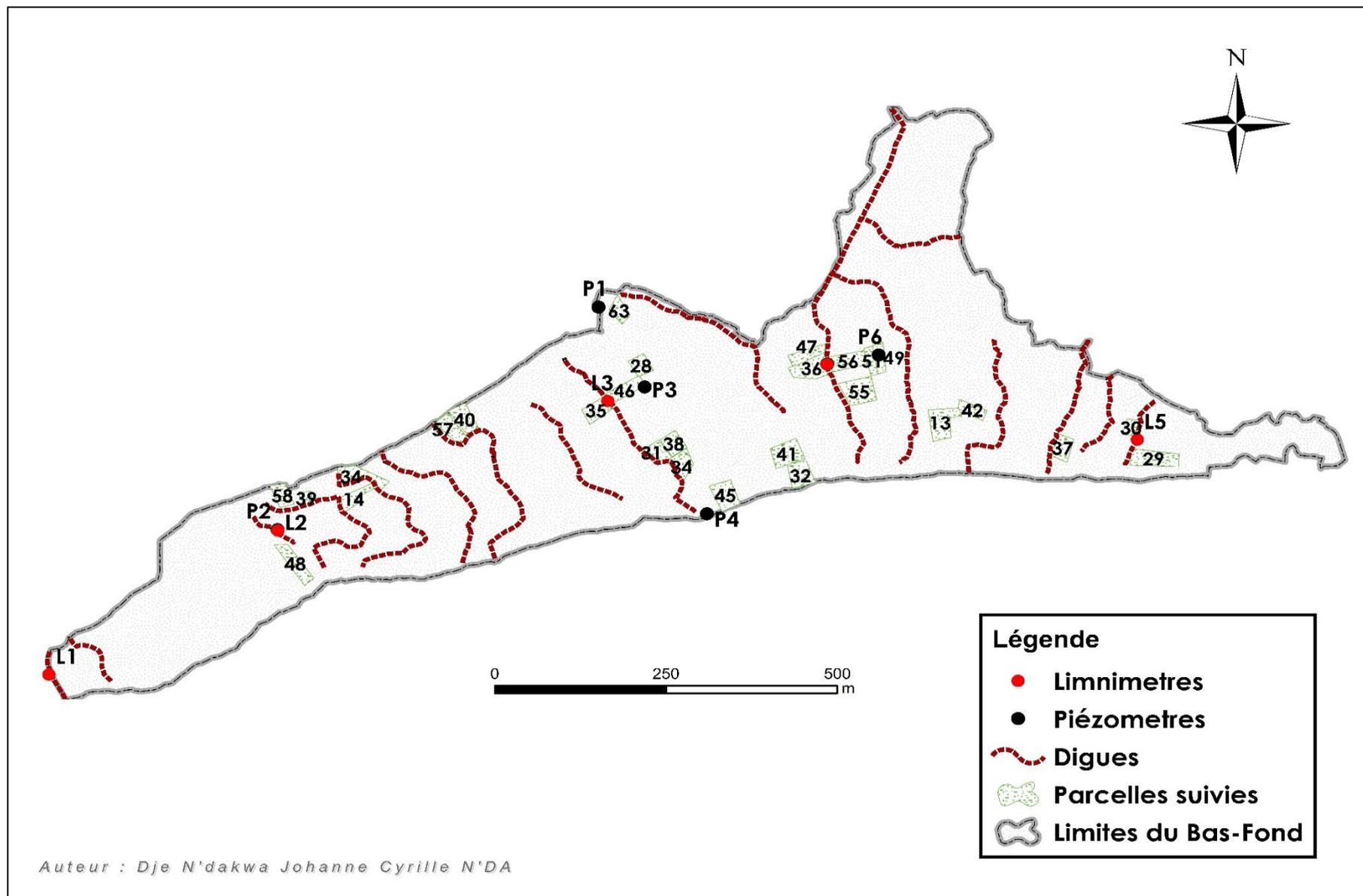
07/28/19	1,4	2
07/29/19	13,6	16,8
07/30/19	0,4	0,4
07/31/19	0,0	15
08/01/2019	19,8	14,8
08/02/2019	-	0
08/03/2019	-	0
08/04/2019	-	0
08/05/2019	-	0
08/06/2019	-	0
08/07/2019	-	0
08/08/2019	-	40
08/09/2019	-	0,2
08/10/2019	-	0
08/11/2019	-	0
08/12/2019	-	0
08/13/2019	-	0
08/14/2019	-	0
08/15/2019	-	3,6
08/16/2019	-	15,6
08/17/2019	-	5,6
08/18/2019	-	0
08/19/2019	-	21,2
08/20/19	-	0
08/21/19	-	0
08/22/19	-	7,2
08/23/19	-	32,2
08/24/19	-	8,6
08/25/19	-	1,8
08/26/19	-	17,2
08/27/19	-	0
08/28/19	0,2	0
08/29/19	0,8	0,8
08/30/19	15,6	20,4
08/31/19	0,0	0
09/01/2019	23,8	16,8
09/02/2019	5,0	1,8
09/03/2019	0,0	1,2
09/04/2019	6,8	7
09/05/2019	0,0	0

09/07/2019	29,2	46,2
09/08/2019	29,2	29,4
09/09/2019	18,4	2,4
09/10/2019	1,4	1,4
09/11/2019	0,0	0
09/12/2019	10,6	10,2
09/13/19	6,6	0,6
09/14/19	0,8	0
09/15/19	7,8	9
09/16/19	0,0	0,4
09/17/19	37,6	9,4
09/18/19	0,2	0,2
09/19/2019	0,0	0,2
09/20/2019	0,0	0
09/21/2019	0,0	0
09/22/19	1,0	2
09/23/19	4,0	3,2
09/24/19	0,0	0
09/25/19	0,0	0
09/26/19	0,0	0
09/27/19	12,6	17,6
09/28/19	0,0	0
09/29/19	0,0	0
09/30/19	1,2	2,8
10/01/2019	0,0	0,2
10/02/2019	4,0	1,4
10/03/2019	0,0	0
10/04/2019	0,0	0
10/05/2019	0,0	0
10/06/2019	6,6	12,6
10/07/2019	0,2	0
10/08/2019	39,0	25,6
10/09/2019	0,0	0
10/10/2019	52,0	33,6
10/11/2019	0,0	1,4
10/12/2019	62,0	35,4
10/13/2019	0,0	0,2
10/14/2019	0,0	0
10/15/2019	0,0	0
10/16/2019	0,0	0
10/17/19	9,8	9
10/18/19	0,0	0

ANNEXE 3 : Illustration du découpage du bas-fond de Kankaniba en 12 différents blocs (surfaces inter-diguettes)



ANNEXE 4: Distribution des parcelles suivies dans le bas-fond de Kankaniba.



ANNEXE 5 : Note de calculs pour l'estimation des crues par la méthode d'OSTORM

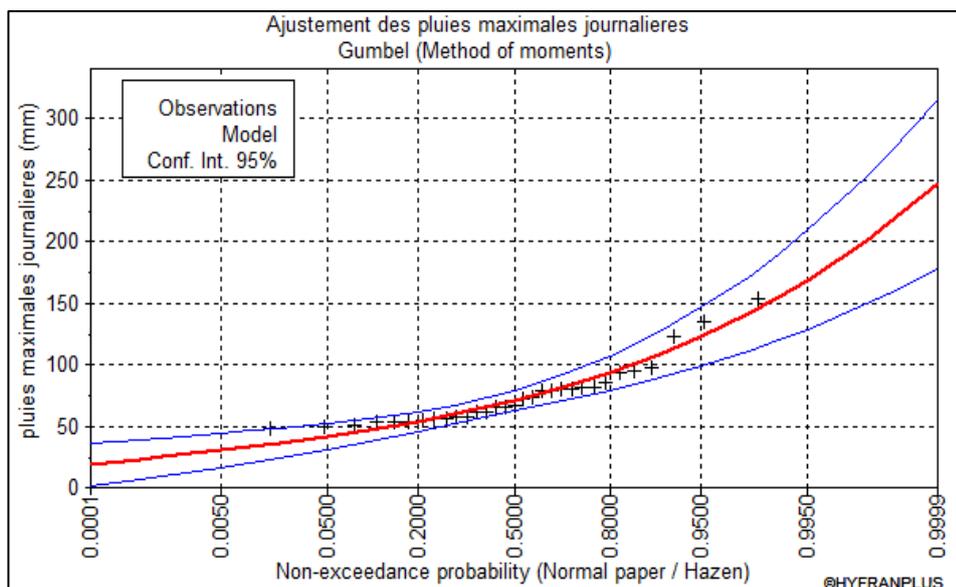
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES				
DESIGNATION	FORMULES	VALEURS		
Périmètre (km)	Ces valeurs sont obtenues à partir du logiciel ArcGIS	P =	27,2	Km
Surface (km ²)		S =	30,22	Km ²
Pente transversale		It =	7,2	m/km
Indice de compacité	$K_G = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{S}}$	K_G =	1,40	
Longueur du rectangle équivalent	$Leq = \frac{K \times \sqrt{S}}{1,128} \times \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{97,76}{K}\right)^2} \right]$	Leq =	10,80	Km
Largeur du rectangle équivalent	$leq = \frac{S}{L}$	Leq =	2,80	Km
Altitude maximale	Ces valeurs sont obtenues par lecture sur la courbe hypsométrique	Zmax =	389	m
Altitude minimale		Zmin =	275	m
Altitude à 5% de surface		Z (5%) =	374	m
Altitude à 95% de surface		Z (95%) =	318	m
Altitude moyenne		Z Moy =	346	m
Altitude médiane		Z méd =	358,5	m
Indice global de pente	$I_g = \frac{Alt_{5\%} - Alt_{95\%}}{L}$	Ig =	5,1	m/km
Correction de l'indice global de pente				
Valeur de n	Leq < 5km	N =	2	
	5km < Leq < 25km	N =	3	
	25km < Leq < 50km	N =	4	
	Leq > 50km	N =	5	
	N retenu =			3
Indice global de pente corrigé	$I_{gcorr} = \frac{(n - 1)I_g + I_t}{n}$	Ig corr. =	5,8559 9038	m/km
Indice global de pente retenue	$(I_t - I_g) / I_t = 0,727 > 20\%$	Ig ret =	5,8559 9038	m/km
Pente longitudinale	$Pente\ long = \left \frac{Z_{20\%} - Z_{80\%}}{60\% \times L} \right $	I =	6,19	‰
Dénivelée spécifique	$D_d = \frac{\sum I_i}{S}$	Ds =	32,19197 22	m
Type de relief	Si Ds < 50 m alors relief faible	Relief faible		

	Si 50m < Ds < 100m alors relief modéré			
	Si Ds > 100m alors relief fort			
Type de réseau hydrographique				
Classe de relief	Cf. Manuel de la FAO	R =	2	
Indice d'infiltrabilité		I =	RI	
		PUIES	HUMIDE	SECHE
Pluie décennale humide	Ces valeurs sont obtenues à partir du logiciel Hyfran	P10 =	106	40
Pluie centennale humide		P100 =	156	25
Pluie annuelle moyenne		Pan Moy =	937,7	
Type de climat	Cf. Manuel de la FAO	Tropicale sèche		
Coefficient majorateur		m =	1,03	
Coefficient d'abattement	$A = 1 - \left(\frac{161 - 0,042 * \text{Pan moy}}{1000} * \log(S) \right)$	A =	0,819974425	
Coefficient de pointe crue décennale	Cf. Manuel de la FAO	$\alpha_{10} =$	2,4	
Calcul du coefficient de ruissellement décennal kr10				
Prenons Ig = 3 m/km (car Ig faible et inférieur à 3) pour calculer Kr10 par interpolation		Ig =	3	m/km
<p>Pour P10 = 70 mm et S = 30 km² :</p> <p>pour une infiltrabilité RI et Igcor = 7 rn/km : a = 200 b = 20 c = 18,5 et Kr10.1 = 22,48%</p> <p>pour une infiltrabilité RI et Igcor = 3 rn/km : a = 250 b = 20 c = 15 et Kr10.2 = 17,98%</p> <p>pour une infiltrabilité RI et Igcor = 5,73 rn/km : Kr = 17,98 + (22,48 - 17,98) . (5,85 - 3) / (7 - 3) = 21,05 %</p>		Kr70	21,18625	
<p>• Pour P10 = 100 mm et S = 30 km², :</p> <p>pour une infiltrabilité RI et Igcor = 7 rn/km : a = 240 b = 30 c = 22 et Kr10.1 = 25,98%</p> <p>pour une infiltrabilité RI et Igcor = 3 rn/km : a = 200 b = 30 c = 17 et Kr10.2 = 20,32%</p> <p>pour une infiltrabilité RI et Igcor = 5,85 rn/km :</p>		Kr100	24,35275	
Coefficient de ruissellement décennal	$Kr_{10} = \frac{(Kr_{100} - Kr_{70})}{(100 - 70)} * (P_{10} - 70) + Kr_{70}$	Kr10 =	24,984	
Calcul du temps de base tb10				
Pour Igcor = 7 rn/km :		Tb10 = 163 S0,36 + 142	697	Minutes
Pour Igcor = 3 rn/km :		Tb10 = 325 S0,36 + 315	1423,63	Minutes
Calcul du temps de montée tm10				

$T_{m10} = 0,33 T_{b10}$		$T_{m10} =$	400	Minutes
CALCUL DES DEBITS DE CRUES				
METHODE ORSTOM				
La pluie moyenne décennale	$P_{m10} = A * P_{10}$	$P_{m10} =$	86,92	mm
La lame d'eau ruisselée décennale	$L_{r10} = K_{r10} * P_{m10}$	$L_{r10} =$	21,72	mm
Le volume ruisselé décennal	$V_{r10} = S * L_{r10}$	$V_{r10} =$	656239,86	m ³
Le débit moyen de ruissellement	$Q_{m10} = V_{r10} * T_{b10}$	$Q_{m10} =$	9,00	m ³ /s
Le débit maximum de ruissellement	$Q_{r10} = \alpha_{10} * Q_{m10}$	$Q_{r10} =$	21,61	m ³ /s
	$Q_{r10} = A * \alpha_{10} * P_{10} * K_{r10} * S / T_{b10}$		21,61	
Le débit de pointe (débit de crue décennal)	$Q_{10} = m * Q_{r10}$	$Q_{10} =$	22,93	m ³ /s

● Résultats de l'ajustement des pluies maximales journalières (décennale humide)

Période de retour (T)	Fréquence	Pluie Maximale journalière (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance (95%)	
100	0,99	155	18	120	190
50	0,98	141	15,4	111	171
20	0,95	122	12,1	98,7	146
10	0,9	108	9,55	89,3	127



ANNEXE 6: Rendements des parcelles suivies

Position	N° parcelle	Rendement en t/ha à 14% humidité
AMONT	13	3,03
	29	2,17
	30	1,33
	36	1,80
	37	1,16
	42	1,57
	47	0,37
	49	0,70
	51	1,16
	55	1,59
	56	1,43
MILIEU	28	0,42
	31	1,36
	32	2,66
	33	1,36
	35	1,26
	38	0,55
	40	2,83
	41	3,69
	45	0,66
	46	0,75
	57	1,84
63	1,25	
AVAL	14	0,51
	34	2,00
	39	1,61
	48	2,63
	58	1,22

ANNEXE 7: Enquêtes sur les règles de gestion de l'aménagement par les paysans

- Questionnaire

INFORMATIONS PERSONNELLES

NOM :
 PRENOMS :
 SEXE :
 AGE :
 N° PARCELLE :
 N° PERTUIS MANIPULER :

1. Saviez-vous que les paysans du bas-fond sont organisés en coopérative ?

Oui Non

2. Ya il des activités (réunions, actions collectives.....) ?

Oui non

Si oui lesquels ?

.....

Sinon pourquoi ?

.....

3. Existe-il un comité de gestion de l'eau (des personnes qui gère les pertuis) ?

OUI NON PAS SUR

Si oui comment fonctionne-t-il ?

.....

4. Qui est responsable de la manipulation (ouverture /fermeture) des pertuis ?

Exploitant Autre Ne touche pas

5. Quels est le critère pour ouvrir les pertuis ? (Possibilité de cocher plusieurs réponses)

En fonction du stade végétatif du riz ? excès d'eau dans la parcelle ?

Autres Si autre préciser).....

6. Quels est le critère pour fermer les pertuis ? (Possibilité de cocher plusieurs réponses)

En fonction du stade végétatif du riz ? manque deau dans la parcelle ?

Pour des activités agricoles dans les parcelles (semis, travail du sol, désherbage, collecte)

Autres (préciser).....

.....

7. L'ouverture des pertuis se fait elle sur tout le bas-fond en même temps ?

Oui Non (chacun décide)

Autre

(Préciser).....

8. La fermeture des pertuis se fait elle sur tout le bas-fond ?

Oui Non (chacun décide)

Autre

(Préciser).....

9. En début de saison des pluies quelle est la position du pertuis que vous utilise

Ouvert fermé autre

Si autre précise ?

.....

10. Pour vous quelle doit être la bonne hauteur d'eau que vous souhaitez dans votre parcelle ?

.....
.....
.....
.....

11. En fin de saison des pluies quelle est la position du pertuis que vous utilisez ?

Ouvert fermé autre

Si autre précisez ?

.....
.....
.....

12. Votre parcelle a déjà été inondée.

Oui non

Si oui à quelle date ?

.....
.....
.....

Est-ce que cela se produit souvent ?

Oui non

13. Pensez-vous que les Diguette retiennent suffisamment d'eau jusque ce que le riz soit mature ?

Oui / Non

Si Non

Pourquoi ?.....

.....
.....
.....

14. Pensez-vous que les pertuis laissent passer correctement l'eau ?

Oui / Non

Si Non

Pourquoi ?.....

.....
.....
.....

15. Que pensez-vous de la taille des pertuis. Sont-ils petit ou large ?

Petit large

Pourquoi.

.....
.....
.....
.....

16. Que pensez-vous du nombre de pertuis ? Doit-on ?

Réduire Augmenter ne rien faire
Pourquoi ? :

.....
.....
.....
.....

17. Arrive vous a ouvrir et fermer correctement les pertuis ?

Oui non

Si non pourquoi ?

.....
.....
.....
.....

18. Que pensez-vous du nombre de diguette. Le nombre est il

Suffisant peu il faudrait en supprimer

Pourquoi ?

.....
.....
.....
.....

Si peu ou précisément dans le bas-fond devrait ton en rajouter.

19. Que pensez-vous de la hauteur des DCN. Sont-ils ?

Haut petit a la bonne taille

Pourquoi ?

.....
.....
.....
.....

20. En cas de crue que faite vous ?

Ouvre les vannes juste après la crue Ne fais rien

21. En générale combien de jours dure une crue ?

.....

22. Aviez-vous une autre activité que celle le bas-fond ?

Oui non

Pourquoi ?

.....
.....
.....
.....

23. Aviez-vous le temps de vous occuper de votre parcelle ?

Oui non

Si non pourquoi ?

.....
.....
.....
.....

24. Quelle solution proposer vous pour resoude vos difficultés ?

.....
.....
.....
.....

