



LA PERCEPTION DE L'ENTRETIEN DU RESEAU DE DRAINAGE ET SA SOLUTION SELON LES AGRICULTEURS - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le 16 Janvier 2017 par

Héritier RUTABARA

Travaux dirigés par :

Dr Amadou KEITA, Enseignant-Chercheur, 2iE
Laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau (LEAH)

M. Bruno LIDON,
COSTEA / CIRAD

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Dial NIANG

Membres et correcteurs : Dr Amadou KEITA
M. Bassirou BOUBE
M. Roland O. YONABA

Promotion [2015/2016]

AVANT PROPOS

Cette étude a été mise en œuvre dans le cadre du COSTEA (Comité Scientifique et Technique Eau Agricole) en partenariat avec le 2iE. Le COSTEA est une plateforme de réflexions multi-acteurs financée par l'AFD et animée par l'AFEID, qui rassemble des professionnels de l'irrigation, en France et dans les pays du Sud. Il cherche à valoriser la connaissance acquise par les expertises françaises et des pays partenaires au développement de l'AFD. Cette valorisation des connaissances vise à ce que l'AFD, qui intervient essentiellement en coopération bilatérale, améliore l'efficacité de ses appuis au développement entre autres pour ce qui est i) de la question de la rentabilité des investissements, ii) du partage de l'eau entre les usagers, iii) de l'intensification agricole et de l'impact environnemental de l'agriculture irriguée.

Le COSTEA conduit des chantiers qui traitent des problématiques auxquelles fait face le développement de l'irrigation. Actuellement, les thématiques suivantes sont explorées :

- ❖ Gouvernance des systèmes irrigués et conduite du changement en Irrigation ;
- ❖ Prise en compte des questions foncières ;
- ❖ Economie de l'agriculture Irriguée ;
- ❖ Performances techniques et environnementales de l'agriculture Irriguée.

Les termes de références de cette étude correspondent au chantier « perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs » retenu par l'AFEID dans le cadre de l'axe thématique 4 « Performances techniques et environnementales de l'agriculture irriguée ».

DEDICACES

Je dédie ce travail à ma famille pour leur amour et
soutien.

REMERCIEMENTS

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, j'aimerais profiter de ce moment pour remercier tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements à :

- ❖ Dr Amadou KEITA, mon encadreur, qui a proposé ce thème de stage, et n'a ménagé aucun effort pour me guider dans les travaux. Votre disponibilité, vos conseils et votre enthousiasme au travail m'ont vraiment marqué. Soyez rassurés de ma reconnaissance.
- ❖ M. Bruno LIDON, chercheur à COSTEA / CIRAD. Vos remarques et conseils ont beaucoup contribué à l'élaboration de ce document. Recevez ma profonde gratitude.
- ❖ M. Didier DIARRA, chef de la Division Travaux et Infrastructures à l'OPIB, pour ses conseils et son appui.
- ❖ M. Boureima DOLO, chef de la section étude et contrôle à l'OPIB, qui m'a assisté tout au long du travail de terrain. Votre soutien a été d'une valeur inestimable. Je vous en remercie.
- ❖ Tous les agents et les exploitants agricoles de l'OPIB, pour leur disponibilité.
- ❖ Mon binôme de stage, Alphonse SIBRI SANDWIDI, pour son esprit d'équipe, son courage et son soutien.
- ❖ Aminata SANOGO, notre interprète à l'OPIB, pour sa disponibilité et son soutien.
- ❖ Justine RUTABAGAYA et Delbon NTUMBA pour tous leurs soutiens et contributions multiformes. Recevez ici l'expression de ma profonde gratitude.
- ❖ La famille KABORE Raboyinga pour leur hospitalité et soutien.

Je tiens également à remercier :

- ❖ La BAD et le DAAD pour avoir financé ma formation à 2iE.
- ❖ L'ensemble du corps professoral de 2iE pour la formation reçue.
- ❖ Le 2iE et le COSTEA pour m'avoir donné l'occasion d'effectuer ce stage au Mali grâce à leur partenariat.
- ❖ La direction de l'OPIB pour nous avoir accueillis dans leur structure et tous les moyens mis à notre disposition pour le déroulement de ce stage.
- ❖ Les amis et tous les Rwandais qui vivent au Burkina Faso, je réitère mes remerciements pour leurs soutiens.
- ❖ Toute la promotion Master Infrastructures et Réseaux Hydrauliques de 2iE 2014-2015.

RESUME

Le manque d'entretien des réseaux de drainage de surface et de subsurface est à la base de nombreux dysfonctionnements et de la faiblesse des rendements sur les systèmes irrigués de l'Afrique de l'Ouest. Ainsi pour mettre en exergue, de façon pratique et statistiquement argumentée, le point de vue de l'exploitant sur la nécessité du réseau de drainage et les facteurs qui peuvent inciter à son entretien perpétuel, une étude sur la perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs a été menée. La zone d'étude, d'une superficie de 1347 ha, est la partie amont du périmètre irrigué de Baguinéda constituée par 1849 parcelles de 0.63 ± 0.025 ha en moyenne, et située à 30 km de Bamako, la capitale du Mali. A base d'un échantillon aléatoire stratifié, 48 enquêtes de terrain, utilisant le WASO qui est un outil de calcul et d'enquête, ont été menées. La performance actuelle du réseau de drainage a été appréciée par les mesures des 2 drains tertiaires et 1 drain secondaire. 25 mesures d'infiltration du sol, sur 11 parcelles réparties sur toute la zone de Baguinéda Amont, ont permis de cerner le lien entre la perméabilité du sol et l'entretien des drains. Les résultats d'enquêtes ont montré que les obstacles prioritaires à l'entretien des drains par ordre d'importance sont entre autre i) le manque de coordination entre les voisins sur un même drain tertiaire, ii) la frustration liée à l'insuffisance de l'eau pour l'irrigation, qui induit les barrages et les puits dans les drains (254 puits/1374 ha), et iii) le manque d'équipements adéquats. Il est ressorti que la culture du riz, préférée par les paysans, n'incite pas à l'entretien des drains. Par ailleurs, il est apparu qu'une bonne performance de production peut inciter à l'entretien, et qu'une petite taille d'exploitation démotive à entretenir les drains. Les agriculteurs ont souligné que la formation, l'appui organisationnel à l'entretien du réseau de drainage afin de faciliter le travail en commun, et les bons équipements sont les meilleures solutions aux problèmes d'entretien des drains. Sur le plan infrastructures physiques, comparativement aux dimensions initiales, les profondeurs des drains ont diminué, montrant le manque de curage. Bien que le réseau actuel de drainage soit en mesure d'évacuer une crue centennale, les inondations causées par la présence des barrages dans les drains et le mauvais état des débouchés de drains, sont observées dans certaines parties du périmètre. Les mesures d'infiltration du sol ont montré que la perméabilité élevée, d'une valeur de 1.85 ± 0.84 mm/h, induit les pratiques telles que les barrages dans les drains pour réduire les pertes par percolation, et entraîne le non-respect du tour d'eau et le non-entretien des drains pour éviter que l'eau se vide rapidement des casiers rizicoles.

Mots clés : perception de l'entretien, drain, WASO, OPIB, Baguinéda

ABSTRACT

The lack of maintenance of surface and subsurface drainage systems is the root of many dysfunctions and low yields in West Africa irrigated systems. In order to highlight, in a practical and statistically well-reasoned way, the farmers' point of view on the necessity of drainage network and the factors that may incite to its perpetual maintenance, a study on the perception of drainage network maintenance and its solution according to the farmers was carried out. The study zone, with an area of 1347 ha, is the upstream part of the irrigated perimeter of Baguinéda which consists of 1849 plots of 0.63 ± 0.025 ha in average, and located at 30km from Bamako, the capital city of Mali. Based on a stratified random sample, 48 field surveys using the WASO which is a calculation and survey tool, were conducted. The current performance of the drainage network was assessed by the measurements of 2 tertiary drains and 1 secondary drain. 25 soil infiltration measurements, on 11 plots spread over the whole upstream part of Baguinéda scheme, allowed us to identify the link between soil permeability and drains maintenance. Survey results have shown that priority barriers to drains maintenance in order of importance are (i) lack of coordination among neighbors on the same tertiary drain, (ii) frustration associated with insufficiency of water for irrigation that induces dams and wells in drains (254wells / 1374ha), and (iii) lack of adequate equipment. It emerged that the cultivation of rice, favored by the farmers, does not incite to maintain drains. Moreover, it appeared that good production performance can encourage to clean drains, and that a small plot size demotivates to maintain drains. Farmers stressed that training, organizational support for drainage system maintenance in order to facilitate joint work, and good equipment are the best solutions to drains maintenance problems. In terms of physical infrastructures, compared to the initial dimensions, the depths of the drains decreased, showing the lack of cleaning out. Although the current drainage system is able to evacuate a centennial flood, flooding caused by the presence of dams in the drains and the poor condition of drains outlets, are observed in some parts of the perimeter. Soil infiltration measurements have shown that high permeability of 1.85 ± 0.84 mm/h induces practices such as dams in drains in order to reduce percolation losses, and results in the non-respect of irrigation cycle and the non-maintenance of drains, so that water may not be quickly emptied from rice traps.

Key words: perception of maintenance, drain, WASO, OPIB, Baguinéda

SIGLES ET ACRONYMES

AFEID	: Association Française pour l'Eau, l'Irrigation et le Drainage
AFD	: Agence Française de Développement
ANOVA	: Analysis of variances (analyse des variances)
CEDEAO	: Communauté Economique des États d'Afrique de l'Ouest
CEE	: Comité d'Exploitation et d'Entretien des réseaux d'irrigation et de drainage
COSTEA	: Comité Scientifique et Technique Eau Agricole
CPEE	: Comité Paritaire d'Exploitation et d'Entretien des réseaux d'irrigation et de drainage
EDM	: Energie du Mali
GPS	: Global Positioning System
GUE	: Groupe d'Utilisateurs d'Eau
OPIB	: Office du Périmètre Irrigué de Baguinéda
ON	: Office du Niger
PO	: Paysan Ordinaire
PR	: Paysan Responsable
QTE	: Question au thème d'enquête
QFCS	: Questionnaire Fermé Codé et Scoré
QOC	: Questionnaire Ouvert Codé
RQTE	: Réponse au Question du Thème d'Enquête
RA	: Réponse anticipée
SIG	: Système d'Information Géographique
STO	: Sondage stratifié optimal
STP	: Sondage stratifié proportionnel
TE	: Thème d'Enquête
2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

SYMBOLES ET NOTATIONS

Adj MS	: Les carrés des moyennes ajustés
Adj SS	: Sommes des carrées des écarts ajustés
DF	: Degree of freedom (degré de liberté)
Ha	: Hectare
l/s	: Litre par seconde
m	: mètre
m³/s	: Mètre cube par seconde
p (p-value)	: Niveau de signification
δ_{real}	: Différence significative du monde réel (real-world significant difference)
δ_{stat}	: Différence significative statistique (statistically significant difference)

TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS.....	i
DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
SIGLES ET ACRONYMES	vi
SYMBOLES ET NOTATIONS.....	vii
TABLE DES MATIERES	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xi
1. INTRODUCTION.....	1
1.1. Contexte	1
1.2. Problématique	2
1.3. Objectifs	4
2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	5
2.1. Drainage des terres agricoles	5
2.2. Infiltration du sol	6
2.3. Méthodes de sondages et d'enquêtes	7
2.3.1. Définitions	7
2.3.2. Les modes de collecte de données dans une enquête par sondage.....	8
2.3.3. L'échantillonnage.....	8
2.3.4. Principales méthodes de sondage aléatoire	9
2.3.5. Les sources d'erreurs dans une enquête par sondage.....	10
3. MATERIELS ET METHODES.....	11
3.1. Présentation du site d'étude	11
3.1.1. Situation géographique.....	11
3.1.2. Population.....	11
3.1.3. Relief et pédologie	12
3.1.4. Végétation	12
3.1.5. Climat.....	12
3.1.6. Ressource en eau	13
3.1.7. Présentation du périmètre irrigué de Baguinéda (PIB)	14
3.1.8. Maintenance du réseau de drainage dans le périmètre irrigué de Baguinéda	15

**La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs -
Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)**

3.2.	Déroulement des enquêtes	15
3.2.1.	Questionnaire	15
3.2.2.	Administration du questionnaire	16
3.2.3.	Prétest à Tiéfora	17
3.2.4.	Echantillonnage	19
3.3.	Mesure de la perméabilité du sol	22
3.4.	Mesure des drains et performance actuelle du réseau de drainage	23
3.4.1.	Mesure des drains	23
3.4.2.	Performance actuelle du réseau de drainage	24
3.5.	Mesures des coordonnées GPS et actualisation de la carte SIG	25
3.5.1.	Mesures des coordonnées GPS	25
3.5.2.	Actualisation de la carte SIG	25
4.	RESULTATS ET DISCUSSION	27
4.1.	Diagnostic hydraulique du réseau de drainage	27
4.1.1.	Etat actuel des drains	27
4.1.2.	Caractérisation des paramètres et performance du drainage	28
4.1.3.	Fonctions des drains selon les paysans	30
4.2.	Résultats des enquêtes	31
4.2.1.	Une culture moins sensible à l'engorgement ou l'inondation du sol est un obstacle à l'entretien des drains (TE1)	31
4.2.2.	Une bonne performance de production peut inciter à l'entretien du réseau de drainage (TE2)	35
4.2.3.	Les matériels d'entretien adéquats facilitent l'entretien des drains (TE3).	40
4.2.4.	La frustration liée à l'insuffisance de l'eau pour l'irrigation est un frein à l'entretien des drains (TE4)	41
4.2.5.	Une petite taille d'exploitation agricole n'incite pas à l'entretien des drains (TE5)	43
4.2.6.	Impact de la toxicité ferreuse sur les rendements (TE6)	45
4.2.7.	Problèmes rencontrés et solutions aux problèmes d'entretien des drains (TE7)	46
4.2.8.	Thème de formation (TE8)	49
4.2.9.	Analyse transversale des thèmes d'enquêtes	49
4.3.	Détermination de la perméabilité dans le bas-fond rizicole de Baguinéda	50
5.	Conclusion	54
6.	Recommandations	55
7.	Références bibliographiques	56
8.	Annexes	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Etat du développement de drainage des terres riches pour l'agriculture dans le monde.....	5
Tableau 2: Thèmes et questions de thèmes d'enquêtes abordés par le questionnaire après prétest	19
Tableau 3: Répartition de l'échantillon dans les différentes strates et sous strates.....	21
Tableau 4: Dimensions moyens actuels des drains	28
Tableau 5: Dimensions initiales des drains	28
Tableau 6: Comparaison des débits max que peuvent évacuer les drains et les débits décennaux.....	29
Tableau 7: One-way ANOVA pour QTE 1.1: Maïs; Oignon; Tomate; Choux	32
Tableau 8: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 1.1	32
Tableau 9: Test des signes pour les cultures du riz et du maïs, QTE 1.1	32
Tableau 10: One-way ANOVA pour QTE 1.2: Maïs; Oignon; Tomate; Choux	34
Tableau 11: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 1.2	34
Tableau 12: Test des signes pour la culture du riz, QTE 1.2	34
Tableau 13: One-way ANOVA pour QTE 2.1: 3t/ha et 5t/ha.....	35
Tableau 14: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 2.1	35
Tableau 15: Test des signes pour 10t/ha ou plus et 5t/ha, QTE 2.1	35
Tableau 16: One-way ANOVA pour QTE 2.2: 5t/ha et 10t/ha.....	36
Tableau 17: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 2.2	36
Tableau 18: Test des signes pour 15t/ha ou plus et 10t/ha, QTE 2.2	36
Tableau 19: One-way ANOVA pour QTE 2.3: 15t/ha et 20t/ha.....	37
Tableau 20: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 2.3	37
Tableau 21: Test des signes pour 30t/ha ou plus et 20t/ha, QTE 2.3	37
Tableau 22: One-way ANOVA pour QTE 2.4: 15t/ha et 20t/ha.....	37
Tableau 23: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 2.4	38
Tableau 24: Test des signes pour 30t/ha ou plus et 20t/ha, QTE 2.4	38
Tableau 25: Le test de Kruskal-Wallis sur le QTE 2.5	38
Tableau 26: Le test de Mann-Whitney sur chaque paire des médianes	39
Tableau 27: Rendements moyens réalisés sur 15 ans dans le périmètre de Baguinéda	39
Tableau 28: Le test de Mann-Whitney pour le Kit 2 et le Kit 3, QTE 3.....	40
Tableau 29: Test des signes pour le Kit 1, QTE 3.....	40
Tableau 30: Le test de Mann-Whitney pour QTE 4 PO.....	41
Tableau 31: Le test de Mann-Whitney pour QTE 4 PR.....	41
Tableau 32: One-way ANOVA pour QTE 5: 0.50ha, 1ha, 2ha et 3ha.....	43
Tableau 33: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 5	43
Tableau 34: Test des signes pour 0.25ha, QTE 5	43

Tableau 35: One-way ANOVA pour QTE 7.1.....	46
Tableau 36: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 7.1	46
Tableau 37: One-way ANOVA pour QTE 7.2.....	48
Tableau 38: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 7.2	48
Tableau 39: Le test de Mann-Whitney pour QTE 8.....	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Géo référencement du périmètre irrigué de Baguinéda au Mali.....	11
Figure 2: Pluviométrie mensuelle moyenne de Baguinéda (2005-2015).....	13
Figure 3: Comparaison des pluviométries moyennes mensuelles aux ETo mensuelles à Baguinéda.....	13
Figure 4: Bassin du fleuve Niger.....	13
Figure 5: Zone d'étude et réseau du périmètre irrigué de Baguinéda	14
Figure 6: Exemple d'évaluation du pouvoir incitatif du type de culture à l'entretien des drains par le WASO	17
Figure 7: Déroulement d'une enquête.....	17
Figure 8: Carte satellitaire indiquant l'emplacement du barrage et du périmètre de Tiéfora ..	18
Figure 9: Présentation des zones ayant servies à la stratification pour l'échantillonnage à Baguinéda Amont.....	21
Figure 10: De gauche à droite : Dispositifs de mesure de la perméabilité du sol et lecture du niveau d'eau dans l'anneau intérieur de diamètre 20mm.	22
Figure 11: (a) STANLEY SPK Single Point Laser Level, (b) Mètre ruban	23
Figure 12: Mesure de côte de fond dans le drain tertiaire du CT2D au CSB5.....	23
Figure 13: GPS GARMIN Map 76CSx.....	25
Figure 14: Carte SIG actualisée du périmètre irrigué de Baguinéda.....	26
Figure 15: Exemple d'un puit dans le drain et le tas de terre déposé dans le drain.....	27
Figure 16 : Exemple de barrage en terre dans un drain tertiaire	27
Figure 17: Exemple d'un piège à poissons dans un drain.....	30
Figure 18: Remplissage de drains par les débris de maïs.....	30
Figure 19: Graphes des résidus pour QTE 1.1 (Maïs, oignon, tomate, chou).....	32
Figure 20: Distribution de la taille parcellaire à Baguinéda Amont	44
Figure 21: De gauche à droite : Précipitation du fer oxydé (Fe^{3+}) sur la surface du sol et la couleur rouge de l'eau montrant la présence du Fe^{3+} dans cette parcelle	46
Figure 22: Statistiques descriptives de la perméabilité du sol à Baguinéda Amont	51
Figure 23: Exemple de courbe d'infiltration, point P1_PO2	52

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

Le secteur agricole joue un rôle primordial au sein de la Communauté Economique des États d'Afrique de l'Ouest (CEDEAO). En tant que pilier de l'économie, il touche à la vie de la société à plusieurs niveaux, dans la mesure où les économies nationales et les emplois, les revenus et la sécurité alimentaire des populations en dépendent (Zougmore et al. 2015). Sur le plan de l'emploi (Blein et al. 2008), le secteur agricole demeure le premier fournisseur de la main d'œuvre. Par ailleurs, il contribue à hauteur de 35% au produit intérieur brut et plus de 60% de la population active de la région CEDEAO travaille dans ce secteur en dépit de la faible rémunération de son effort par rapport aux autres secteurs de l'économie (Zougmore et al. 2015; Blein et al. 2008).

Selon Hollinger et Staatz (2015), la démographie ouest-africaine est en perpétuelle augmentation et cette tendance devrait durer jusqu'au milieu du siècle. En Afrique de l'Ouest le taux de croissance varie d'un pays à l'autre, mais en moyenne de 2005 à 2010, il était de 2.6%. La population a quadruplé en 50 ans, de 90 millions en 1960 à 342 millions en 2011, et devrait doubler d'ici 2050. Cette croissance rapide de la population se traduira par une demande accrue pour la nourriture, ce qui constituera un défi encore plus important que l'insécurité alimentaire actuelle dans la région (Zougmore et al. 2015). Même si les famines sont devenues exceptionnelles, l'insécurité alimentaire reste au cœur des discours politiques sur le Sahel depuis la crise de 1972-1973 (Barbier et al. 2011).

L'agriculture irriguée joue un rôle majeur dans l'atteinte des objectifs de la sécurité alimentaire et l'amélioration de la qualité de vie, tout en conservant l'environnement, dans les pays développés et en voie de développement (Wrachien et Feddes 2004). Ne représentant que 18% des terres riches pour l'agriculture dans le monde, l'agriculture irriguée est responsable de 40% de la production mondiale (Smedema et al. 2000). C'est dans ce sens que le développement de l'irrigation est largement vu comme une avenue pour réduire la pauvreté et l'insécurité alimentaire (Namara et Sally 2010; Coulibaly et al. 2006). Par ailleurs, l'irrigation est considérée comme le meilleur moyen d'augmenter la production agricole tout en réduisant sa vulnérabilité à la variabilité climatique (Diouf 2008; Rosegrant et Cline 2003; Barbier et al. 2011). Grâce à l'agriculture irriguée, le maraîchage de saison sèche a pris une part significative en terme de revenus et d'emploi (Barbier et al. 2011). Au Mali, les cultures irriguées jouent un rôle prépondérant dans la satisfaction des besoins alimentaires et la diversification de la

production agricole. Dans les grandes zones agricoles du Mali, l'irrigation a permis de mieux sécuriser les revenus des producteurs et d'améliorer l'exploitation des ressources en eaux dont dispose le pays (Dembélé 2010).

Le Périmètre Irrigué de Baguinéda, bien que d'autres périmètres irrigués au Mali, joue un rôle non négligeable dans la production agricole nationale afin de contribuer à la sécurité alimentaire. Au Mali, la production prévisionnelle 2014/2015 du riz était estimée à 2 251 031 tonnes, tandis que celle du maïs était de 1 973 911 tonnes (Cellule de planification et de statistique du secteur développement rural 2014). Dans la même année, la production totale du riz du périmètre irrigué de Baguinéda était de 13 838 tonnes, soit 0.6% de la production nationale du riz, et celle du maïs était de 4 246 tonnes, soit 0.22% de la production nationale du maïs. Même si la contribution du périmètre irrigué de Baguinéda dans la production Malienne semble être petite, elle a un impact considérable sur les 3000 familles habitant dans la localité de Baguinéda. En effet, 80% de la production du riz est auto consommée et un important commerce des cultures maraichères existe après la récolte de la saison sèche (Keïta 2008).

Le drainage est un instrument crucial pour atteindre le développement durable de l'agriculture irriguée et l'agriculture pluvial partout dans le monde (Daniele De Wrachien et Feddes 2004). Même si la contribution historique du drainage à la production mondiale alimentaire n'a jamais été évaluée quantitativement, elle a été très significative. Sans le drainage beaucoup des plaines alluviales ne seraient jamais devenues les paniers de pains qu'elles sont aujourd'hui. Un bon drainage peut contribuer à établir une agriculture durable, diversifiée et compétitive (Smedema et al. 2000).

La défaillance des réseaux de drainage diminue les performances de plusieurs périmètres irrigués en Afrique de l'Ouest. Ainsi, la question du drainage efficace et l'entretien des réseaux de drainages n'est pas à ignorer si l'on veut pérenniser les aménagements hydro-agricoles.

1.2. Problématique

Le mauvais drainage est à la base de la dégradation des terres agricoles. Dans plusieurs aménagements hydro-agricoles, la combinaison du système de drainage inadéquat et l'utilisation excessive de l'eau d'irrigation est la racine des problèmes de drainage (Vandersypen et al. 2007). En effet, le drainage inadéquat dans les périmètres irrigués, spécialement les périmètres à vocation rizicole, est la principale cause des remontées de la nappe, l'engorgement des sols, la salinisation et éventuellement les pertes des rendements

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

(Konukcu et al. 2006; Smedema et al. 2000). En cas d'engorgement, l'excès d'eau favorise la dégradation de la structure du sol, la rend moins stable et diminue l'aération des sols par l'occupation de la macroporosité. Ainsi le sol est rendu réducteur par l'absence d'oxygène, ce qui contraint les bactéries aérobies à réduire les oxydes ferriques en oxydes ferreux pour leur arracher de l'oxygène, produisant la toxicité ferreuse. En plus, l'excès d'eau limite le développement et la nutrition des racines conduisant à leur asphyxie (Keïta 2015a; Compaoré 1998). Dans la vallée du Kou, plus de 300 ha ont été sévèrement affectés par la toxicité ferreuse et abandonnés par les agriculteurs (Ouattara 1992).

La partie du réseau de drainage confié aux paysans souffre d'un manque d'entretien. Depuis que la gestion des périmètres est confiée aux usagers, les agriculteurs sont maintenant responsables de la maintenance des infrastructures hydrauliques tertiaires (Vandersypen et al. 2007). Puisque les fonds et l'attention des paysans sont majoritairement dirigés vers l'irrigation, plusieurs périmètres irrigués ont des systèmes de drainage défaillants (Smedema et Ochs 1998). Les drains bouchés demandent régulièrement l'investissement des fonds pour le curage alors que ce problème pouvait être évité par un simple entretien continu. La réaction habituelle à la négligence de la maintenance est devenue une coutume de 'construire-négligence-reconstruire' qui, face à des contraintes budgétaires, ne peut pas être une option pour le futur (Huppert et al. 2003).

Le succès des projets d'irrigation et de drainage est fortement lié à la création d'un environnement favorable qui va attirer les agriculteurs à commencer et à continuer les activités proposées (Schultz et De Wrachien 2002). Plusieurs études se sont penchées sur les problèmes de drainage et le lien entre l'irrigation et le drainage (Vandersypen et al. 2007; Daniele De Wrachien et Feddes 2004; Schultz et De Wrachien 2002; Smedema et al. 2000). Toutefois, à base de nos recherches bibliographiques, il semble que le point de vue paysan, le premier concerné, sur la question du drainage est important mais reste insuffisamment exploré. Ainsi pour inciter les paysans à entretenir les drains, il est d'une importance capitale de connaître leurs perceptions individuelles du réseau de drainage et de ce qui les inciterait à s'engager personnellement dans la maintenance de ce dernier. D'où l'intérêt de cette étude qui cherche à mettre en évidence la perception et la résolution du problème selon les paysans. Ceci devrait permettre de lancer des actions qui ont plus de chance de rencontrer leur coopération, et donc plus durables.

1.3. Objectifs

L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la productivité et de la durabilité des aménagements hydro-agricoles.

Plus spécifiquement, il s'agit :

- d'identifier, du point de vue paysan, les obstacles à l'entretien du réseau de drainage dans le périmètre irrigué de Baguinéda ;
- d'aboutir à des propositions pour améliorer l'entretien du réseau de drainage en prenant appui sur la perception paysanne de la question ;
- de faire un diagnostic hydraulique visant à établir les paramètres originaux du système de drainage et à objectiver leur performance actuelle sur le périmètre irrigué de Baguinéda ;
- de contribuer à la mise en forme d'une approche méthodologique générique permettant de faciliter la définition du rôle des différents acteurs dans l'entretien du réseau de drainage.

En ce qui concerne ce dernier point, pour donner un caractère générique à cette approche et la mettre à profit pour une étude régionale, un panel de plusieurs périmètres irrigués sera choisi au Niger, Mali et Burkina. Ceci permettra de prendre en compte les effets induits par le type d'aménagement, sa taille, son état et le contexte institutionnel de sa gestion. La présente étude constitue donc une première phase afin d'expérimenter la démarche et de caler la méthodologie d'approche de la problématique dans le but d'étendre l'étude sur d'autres terrains. Le choix de l'OPIB est basé sur les interventions antérieures permettant de disposer de relais terrain (personnes ressources) et de données de base.

Questions de recherche

- Qu'est-ce qui pourrait motiver l'exploitant à s'engager dans l'entretien des drains ?
- Comment quantifier et analyser leurs opinions ?
- Peut-on utiliser une méthode générique pour mener une telle étude ?

Ce travail est divisé en cinq grandes parties. La première partie concerne la revue bibliographique sur le drainage agricole, l'infiltration du sol et les méthodes de sondages et d'enquêtes. La seconde partie décrit les matériels et méthodes utilisés pour l'exécution des travaux sur le terrain. La troisième partie présente les résultats obtenus et leur discussion. La quatrième partie donne la conclusion qui synthétise les principaux résultats de l'étude. En dernière partie, les recommandations sont formulées.

2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. Drainage des terres agricoles

Le drainage agricole est une évacuation intensive et uniforme des excès d'eau en tous les points d'une parcelle. Quand le drainage vise à évacuer, vers un exutoire approprié, l'eau accumulée à la surface du sol dans des dépressions, on utilise la méthode du *drainage de surface*. Lors que le drainage vise à extraire l'eau de la zone racinaire ou à contrôler la salinité, la méthode utilisée est le *drainage de subsurface* appelé encore *drainage souterrain* ou *drainage par puits*. Le but principal du drainage agricole est de créer des conditions favorables au travail des sols humides et de permettre l'amélioration des rendements des cultures qui y sont pratiquées (Keïta 2015a; Compaoré 1998).

Bien que le drainage de surface et subsurface soient différents, ils ont un lien entre eux. Depuis longtemps, la conception du drainage agricole repose sur des méthodes basées sur la théorie de l'écoulement souterrain (Hammani et al. 2002). Même si le rôle des écoulements de surface dans l'évacuation des excès d'eau peut être important, leur prise en considération dans la conception reste très sommaire à travers l'utilisation d'un coefficient de restitution du drainage souterrain.

Le réseau de drainage est constitué principalement de :

- *colatures de ceintures*. Elles constituent le réseau externe et interceptent les eaux sauvages provenant du ruissellement d'eau de pluies tombant sur la partie du bassin versant haute dominant le périmètre irrigué.
- *drains internes*. Ils permettent l'évacuation des excès d'eau de pluies ou d'eau d'irrigation hors du périmètre.

Les deux paramètres les plus importants du réseau de drainage souterrain sont l'écartement et la profondeur des drains (Keïta 2015a; Bouarfa 1995). Le drainage de subsurface peut être en canaux ouverts ou en tuyauterie.

Le tableau 1 présente en résumé l'état actuel du développement du drainage des terres riches pour l'agriculture dans le monde :

Tableau 1: Etat du développement de drainage des terres riches pour l'agriculture dans le monde

	Non drainées	Drainées	Total
	Million d'ha		
Terres de l'agriculture irriguée	210	60	
Terres de l'agriculture pluviale	1100	130	
Total	1310	190	1500

Source: Smedema et al. (2000) cités par Wrachien et Feddes (2004)

Rôles du drainage dans la société

Selon Smedema et al. (2000), le drainage peut jouer cinq (5) rôles dans une société, à savoir : la production alimentaire, l'intensification et la diversification agricole, l'utilisation durable des terres agricoles, le développement rural et la protection de l'environnement. Pour que le drainage des terres agricoles joue pleinement ces différents rôles, un accent particulier doit être mis sur l'entretien des réseaux de drainages. Ceci fait de ce dernier une activité incontournable pour assurer la pérennité des ouvrages de drainages, et par conséquent la durabilité des aménagements hydro-agricoles.

2.2. Infiltration du sol

Les sciences agricoles et l'hydrologie prônent que l'étude de l'infiltration est d'une importance capitale en ce sens qu'elle détermine le stock d'eau disponible pour les plantes, la recharge des nappes et le ruissellement en surface (Angulo-Jaramillo et al. 2016). Plusieurs méthodes de mesure d'infiltration existent, parmi lesquelles nous pouvons citer : la méthode de la tâche d'humidité laissée par un goutteur de débit connu, la méthode conventionnelle des doubles anneaux de Müntz, la méthode Pioger à double anneau, la méthode Porchet, le test d'infiltration au cylindre (surface = 100 cm²) et le test au simulateur de pluie mécanique ou manuel (Roose et Smolikowski 1997).

Méthode de double anneau de MUNTZ

La méthode de double anneau de MUNTZ donne des résultats intéressants pour étudier l'infiltration des eaux d'irrigation par submersion dans les sols alluviaux (Boivin et Touma 1988 cités par Roose et Smolikowski 1997). Le dispositif double-anneau de Müntz est destiné à caractériser l'infiltrabilité des sols "in situ" dans le cas d'un écoulement monodimensionnel vertical. Pour utiliser l'infiltromètre double anneau afin d'estimer la conductivité hydraulique du sol à saturation, il faut en particulier (Boivin 1990):

- que le sol soit homogène (pas de stratification) ;
- que le profil d'humidité initiale soit uniforme ;
- qu'il n'y ait pas d'écoulements préférentiels (pas de macroporosité fractionnelle).

Il est rare que ces trois conditions soient vérifiées. Dans le cas de l'étude de Boivin (1990), aucune de ces conditions n'était remplie. Cependant leur étude est parvenue aux résultats prouvant que le dispositif double-anneau fournit une mesure qui paraît robuste et fiable.

- *Robuste* : Le dispositif double anneau est peu sensible aux hétérogénéités qui se développent à l'échelle de la dizaine de centimètres, tant verticalement que latéralement à l'intérieur du profil. De même, la courbe d'infiltration reste proche des modèles théoriques, bien que l'on s'éloigne des conditions de leur énoncé. Enfin les modifications de la géométrie du dispositif (diamètre des anneaux) n'ont pas des répercussions sur la mesure.
- *Fiable* : les valeurs mesurées dans l'espace sont fortement auto corrélées, indiquant d'une part que la mesure n'est pas entachée d'un 'bruit de fond', d'autre part que la mesure possède un bon degré de reproductibilité.

2.3. Méthodes de sondages et d'enquêtes

2.3.1. Définitions

Réaliser un sondage dans une population consiste à y prélever un sous-ensemble d'éléments - appelé un « échantillon » - pour extrapoler ensuite ce qu'on observe dans cet échantillon à l'ensemble de la population (Vermandele 2016). Ainsi, une enquête par sondage peut être définie comme une recherche d'informations, visant à déterminer la répartition des opinions sur une question, dans une population donnée, en recueillant, au près d'un échantillon prélevé dans cette population, des réponses individuelles exprimant ces opinions (Lyberg 2012; Groves et al. 2009; Dussaix 2009; Statistique Canada 2003).

Selon Dalenius (1985) cité par Lyberg (2012), une étude peut être catégorisée comme une enquête si les conditions préalables qui suivent sont satisfaites :

1. l'étude concerne un ensemble d'objets constituant une population ;
2. la population étudiée possède une ou plusieurs propriétés mesurables ;
3. le but de l'étude est de décrire la population au moyen d'un ou plusieurs paramètres définis en fonction des propriétés mesurables, ce qui nécessite l'observation (d'un échantillon) de la population ;
4. pour arriver à observer la population, une base de sondage¹ est nécessaire ;
5. un échantillon d'objets est sélectionné à partir de la base de sondage conformément à un plan d'échantillonnage qui spécifie un mécanisme probabiliste et une taille d'échantillon n (où n pourrait être égal à N , la taille de la population) ;

¹ Base de sondage : une liste où tous les individus de la population sont répertoriés.

6. des observations sont faites sur l'échantillon conformément à un procédé de mesure (c'est-à-dire une méthode de mesure et une prescription concernant son utilisation) ;
7. un processus d'estimation fondé sur les mesures est appliqué pour calculer des estimations des paramètres lorsque l'on fait une inférence au sujet de la population étudiée d'après l'échantillon.

2.3.2. Les modes de collecte de données dans une enquête par sondage

Les modes de collecte les plus courants sont (Vermandele 2016) :

- L'auto-administration : l'information requise est fournie par le répondant qui complète lui-même le questionnaire, sans l'assistance d'un enquêteur.
- Entrevue personnelle : l'information requise est obtenue par une visite personnelle.
- Entrevue téléphonique : l'information requise est obtenue par un contact téléphonique avec le répondant.

2.3.3. L'échantillonnage

Réaliser une enquête par sondage commence par le prélèvement d'un échantillon représentatif de taille n dans la population de taille N . L'estimation d'un paramètre dans la population (moyenne, proportion ou totale) se fonde sur les valeurs que prend ce paramètre dans l'échantillon. Un échantillon représentatif de la population permet une meilleure approximation de la variable étudiée, appelée aussi variable d'intérêt. On parle d'échantillon représentatif lorsque la répartition de certaines catégories dans l'échantillon est similaire à la répartition de ces catégories dans la population. Par conséquent, ce n'est que si la diversité des individus de l'échantillon est quasiment aussi riche que celle de la population que l'on pourra valablement extrapoler les résultats obtenus dans l'échantillon au niveau de la population (Vermandele 2016).

La taille n de l'échantillon dépend de plusieurs facteurs dans les méthodes de sondage. Ardilly (2006) compare la précision d'un sondage à la taille n de l'échantillon, car selon lui, au vu des formules de variance, plus la taille n de l'échantillon est grande, plus le sondage est précis. Tandis que Keïta (2016a) insiste sur le lien entre la taille n de l'échantillon, la différence significative du monde réel δ_{real} (real-world significant difference) et la différence significative statistique δ_{stat} (statistically significant difference). Si la taille de l'échantillon est très petite, la δ_{real} peut être présente mais sans être détectée par l'enquête car elle est plus grande que la δ_{stat} . Par contre, si la taille de l'échantillon est très grande, la δ_{stat} peut être

reportée, mais n'ayant aucune signification du monde réel car elle est plus petite que la δ_{real} . D'où la nécessité d'une prédétermination de n pour réconcilier la signification statistique à une signification du monde réel.

Il existe deux grandes catégories de méthodes d'échantillonnage (Dussaix 2009; Ardilly 2006):

- **les méthodes aléatoires** (ou probabilistes) dans lesquelles chaque individu de la population a une probabilité donnée connue d'avance, différente de zéro, d'appartenir à l'échantillon ;
- **les méthodes empiriques** (ou non aléatoires) dans lesquelles les probabilités d'inclusion ne sont pas connues ; la constitution de l'échantillon résulte d'un choix raisonné visant à faire ressembler l'échantillon à la population dont il est issu.

En terme de qualité et de précision des résultats, les méthodes aléatoires, appelées aussi sondages aléatoires, sont avantageuses par rapport aux méthodes empiriques. Les méthodes empiriques s'inspirent de considérations moins objectives, plus discutables, et sont par conséquent moins rigoureuses. Elles se justifient par des raisons qualitatives que quantitatives, et l'utilisation de ces méthodes dépend souvent des considérations budgétaires (Ardilly 2006). Contrairement aux méthodes empiriques, les méthodes aléatoires permettent d'évaluer la qualité des résultats par le calcul de l'erreur dû à l'échantillonnage.

2.3.4. Principales méthodes de sondage aléatoire

❖ Sondage aléatoire simple

Le sondage aléatoire simple consiste à tirer dans la population de taille N un échantillon de taille fixée n sans remise à partir des seuls identifiants de façon à ce que chaque individu ait la même probabilité d'inclusion, et cela sans aucune manipulation préalable dans la population ni intervention d'aucune information auxiliaire (Ardilly 2006). Cependant, lorsque la population est très hétérogène par rapport au problème étudié, les résultats par sondage aléatoire peuvent être peu précis. S'il y a existence d'information sur les individus de la population, appelée information auxiliaire, permettant de les répartir en sous-populations plus homogènes, il sera préférable d'utiliser le sondage aléatoire stratifié (Dussaix 2009).

❖ Sondage aléatoire stratifié

Le principe de la stratification consiste à découper la population en sous-ensembles, appelés strates (Kish 1965). Une bonne stratification donne lieu à la constitution de groupes d'individus

tels que, vis-à-vis de la variable d'intérêt, les comportements moyens au sein de chaque groupe soient les plus différents possible d'un groupe à l'autre, ou encore, ce qui est équivalent, tels que les comportements des individus d'un groupe donné soient les plus semblables possibles, et cela pour chacun des groupes (Ardilly 2006).

On distingue principalement deux types de sondage stratifié : le sondage stratifié proportionnel (STP) et le sondage stratifié optimal (STO). Lorsque l'échantillon global est réparti entre les différentes strates proportionnellement à la population de chaque strate, on parle de sondage stratifié à *allocation proportionnelle*. Lorsque la taille de l'échantillon dans une strate est proportionnelle au nombre d'individus et à l'écart-type de la variable étudiée dans la strate, le sondage stratifié est dit à *allocation optimale* ou *allocation de Neyman* (Dussaix 2009; Ardilly 2006; Kish 1965).

Le STO améliore la précision des résultats par rapport au STP, mais nécessite la connaissance de l'écart-type de la variable d'intérêt dans chaque strate, ce qui constitue la principale contrainte de l'usage de ce type de stratification. Lorsque les variances du paramètre-population au sein des strates ne sont pas disponibles, le STP est souvent utilisé (Statistique Canada 2003). C'est ce qui a conduit au choix de ce dernier dans cette étude.

2.3.5. Les sources d'erreurs dans une enquête par sondage

Bien que l'erreur due à la variance, appelée aussi erreur d'échantillonnage, soit facilement quantifiable ; il est par contre difficile de mesurer l'impact sur la qualité des résultats des autres types d'erreurs, généralement dues au biais. Pour concevoir une enquête, évaluer et améliorer la qualité des résultats d'enquête, il est indispensable de connaître ces différentes sources d'erreur afin de savoir comment les prévenir et, à posteriori, si possible, comment en diminuer l'impact sur les résultats (Dussaix 2009).

Les erreurs dans les enquêtes par sondage sont subdivisées en deux groupes (Dussaix 2009; Ardilly 2006):

- L'erreur d'échantillonnage (*sampling error*) : liée au processus d'échantillonnage.
- Les autres types d'erreurs (*nonsampling error*) qui sont dues au biais. Parmi ces erreurs, on distingue l'erreur de couverture (différence entre la population cible et la base de sondage), l'erreur de mesure (réponse fournie inexacte) et l'erreur de non réponse (absence totale ou partielle d'informations concernant des individus de l'échantillon).

3. MATERIELS ET METHODES

3.1. Présentation du site d'étude

3.1.1. Situation géographique

Le périmètre irrigué de Baguinéda (Figure 1), qui constitue notre site d'étude, est un aménagement hydro-agricole géré par l'Office du Périmètre Irrigué de Baguinéda (OPIB). Les coordonnées GPS du site sont : 7°46'30'' Longitude Ouest et 12°37'45'' Latitude Nord. Il est situé dans la commune rurale de Baguinéda-Camp, à 30 km au Sud Est de Bamako, la capitale du Mali, en rive droite du fleuve Niger et couvre 22 villages. La commune de Baguinéda-Camp, avec une superficie d'environ 990 km², est limitée au Nord par les communes de Tienfala et de Koulikoro, au Sud par les communes de Mountougoula et de N'Goubara, à l'Est par la commune rurale de Binko et à l'Ouest par la commune de Kalaban-coro et la commune VI du district de Bamako.

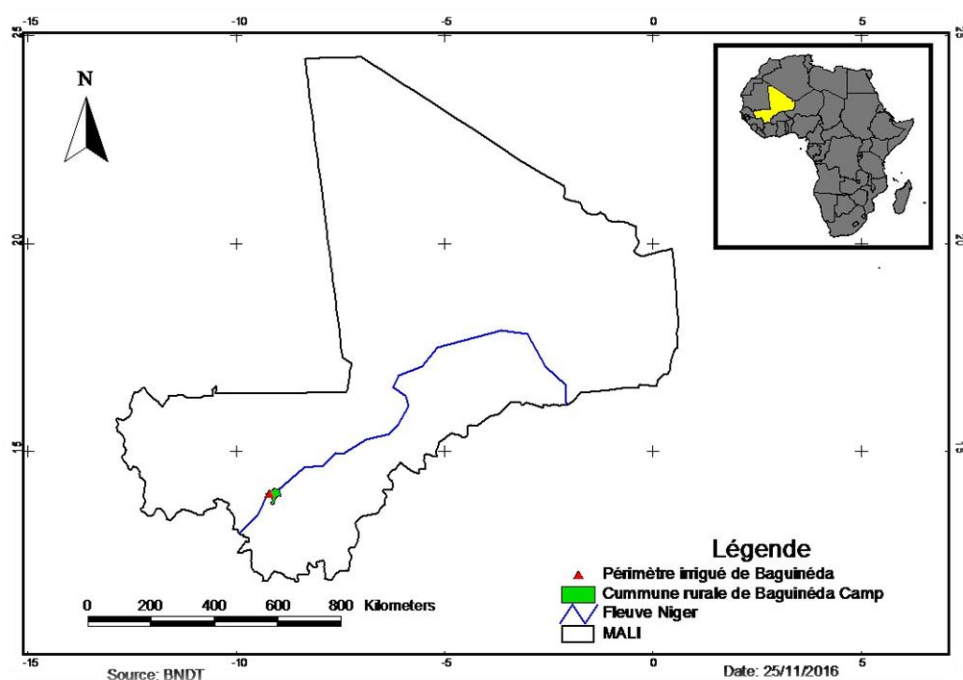


Figure 1: Géoréférencement du périmètre irrigué de Baguinéda au Mali.

Le périmètre irrigué de Baguinéda, site de notre étude, est situé dans la commune rurale de Baguinéda-Camp à 30 km au Sud Est de Bamako, en rive droite du fleuve Niger.

3.1.2. Population

La population de la commune rurale de Baguinéda-Camp, dont l'activité principale est l'agriculture, est constituée de plusieurs groupes ethniques. Selon le recensement administratif à caractère électoral (RACE) de 2001, elle est estimée à 26 995 habitants répartis entre 13 863

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

hommes et 13 127 femmes. Les différents groupes ethniques de la commune sont composés de Bambara (ethnie dominante), peulhs, Bobos, Sénoufos, Miniankas et quelques Bozos venus de la région de Mopti. La langue couramment utilisée est le Bambara (PROMISAM and USAID-Mali 2008).

3.1.3. Relief et pédologie

Le relief de la commune est accidenté avec des chaînes de collines disséminées un peu partout, qui constituent les prolongements du Mont Manding. Il est dominé par une falaise gréseuse, surmontée par la cuirasse latéritique bordée du côté fleuve par des colluvions. La falaise gréseuse fait place à une bordure alluviale plane vers la partie Est du périmètre. A l'intérieur du périmètre, en plus des colluvions au pied de la falaise, il existe des terrasses alluviales résultant des cônes de déjection des petits affluents locaux (Koba, Fara) du Niger disposés en bourrelets de berge ainsi que des bas-fonds dans la zone de konni.

Les sols du périmètre sont constitués de sols peu évolués formés à partir d'alluvions et de colluvions récents et des sols hydromorphes minéraux ou peu humifères à amphigley. (Groupement AFRICONSULT 2014; PROMISAM et USAID-Mali 2008).

3.1.4. Végétation

Sur le site d'étude, la végétation est moins dense. A part quelques galeries forestières situées en bordure des talwegs périodiquement inondés par la crue du Niger, la végétation est du type soudanien (savane associé à un étage arbustif plus ou moins dense). Dans la commune rurale de Baguinéda-Camp, parmi les espèces végétales rencontrées, on peut citer : *le karité*, *le tamarin*, *le baobab*, *le cailcédrat* et *le balanzan* (PROMISAM et USAID-Mali 2008).

La commune rurale de Baguinéda-Camps est située dans la région de Koulikoro où on observe plusieurs types d'espèces végétales. Les plus représentées sont : *Borassus aethiopum*, *Tectona grata*, *Vitellaria paradoxa*, *Eucalyptus camadulensus*, *Azadiracta indica*, *Bombax costatum*, *Lannea sp*, *Manguifera indica*, *Parkia biglobosa*. Parmi les espèces emblématiques, on peut citer : *Afzelia africana*, *Afromozia laxiflora*, *Entanda soudanica*, *Spondias monbin*, *Ostryoderris chevalieri* (Konaté 2014).

3.1.5. Climat

Le climat de la zone est du type soudanien avec une pluviométrie comprise entre 700 et 1200mm par an et répartie sur 3 saisons (Groupement Africonsult 2014):

- une saison sèche froide de novembre à février,

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

- une saison sèche chaude de mars à mai,
- une saison de pluie de juin à octobre.

Depuis 2005, la pluviométrie annuelle enregistrée à la station de Baguinéda varie entre 719mm (2007) à 1050mm (2013). Le mois d'août est le plus pluvieux avec 245mm et 87% de la pluviométrie annuelle est enregistrée entre Juin et Septembre (Figure 2).

La période allant d'Octobre à Mars est caractérisée par un écart considérable entre les précipitations et l'évapotranspiration de référence (ET_o) (Figure 3). Cet écart se traduit par des besoins en eau d'irrigation élevés durant cette période.

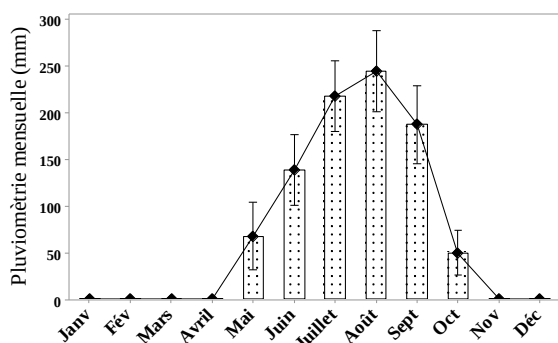


Figure 2: Pluviométrie mensuelle moyenne de Baguinéda (2005-2015).

Les bars représentent les erreurs calculées à partir des écarts-types à 95% d'intervalle de confiance.

Source : OPIB

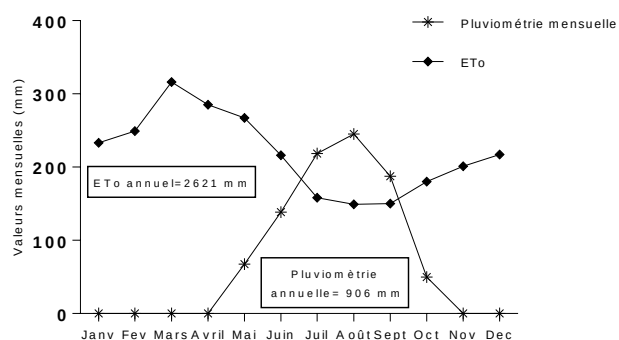


Figure 3: Comparaison des pluviométries moyennes mensuelles aux ET_o mensuelles à Baguinéda

Les valeurs d'ET_o sont des valeurs moyennes sur 36 ans (1970-2006) et les valeurs des pluviométries moyennes sont de la période allant de 2005 à 2015.

3.1.6. Ressource en eau

Le fleuve Niger constitue la source d'alimentation en eau d'irrigation du périmètre irrigué de Baguinéda. D'une longueur de 4200 km dont 1700 km au Mali (Dembélé 2010), il est le troisième plus grand fleuve d'Afrique, après le Nil et le Congo. Il a comme principaux affluents le Bani (900 km de long) et le Sankarani (490 km de long). Le volume moyen interannuel écoulé est de 46 milliards de m³ par an. Son bassin a une superficie théorique d'environ 2 100 000 km² (Figure 4).



Figure 4: Bassin du fleuve Niger

Source : Atelier National d'Information et de sensibilisation sur la Charte de l'eau du Bassin du Niger (2009).

3.1.7. Présentation du périmètre irrigué de Baguinéda (PIB)

D'une longueur de 20km environ et d'une largeur moyenne de 2.25 km, le périmètre irrigué de Baguinéda a une superficie brute de 4500 ha dont 3080 ha irrigable. De l'amont à l'aval, le périmètre est subdivisé en 4 secteurs (annexe 1). Cette étude s'est délimitée sur la partie amont du périmètre, appelée « **Baguinéda Amont** », constituée par les secteurs 1 et 2 (Figure 5) d'une superficie totale de 1347ha. Une autre étude similaire a été menée en parallèle sur Baguinéda Aval (Secteur 3 et 4).

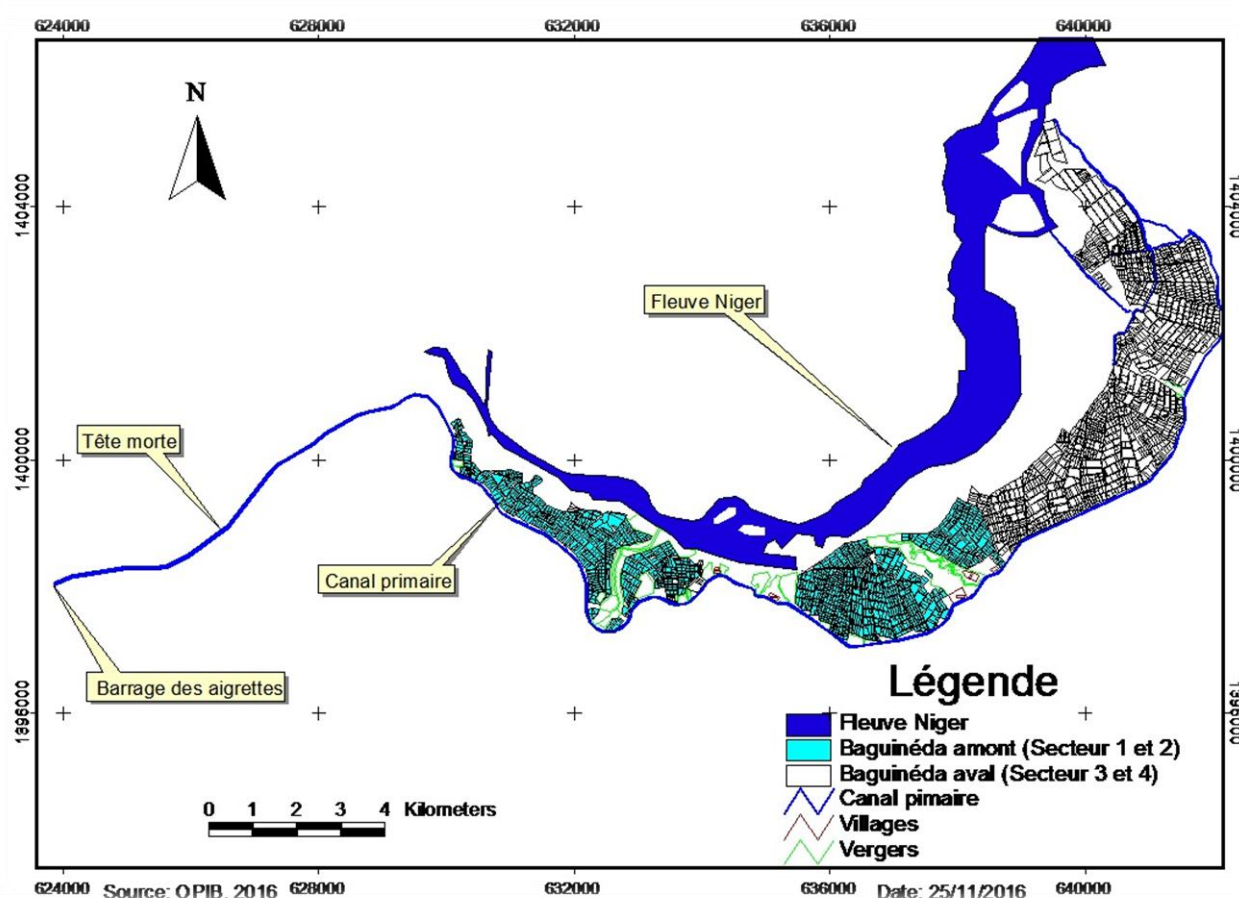


Figure 5: Zone d'étude et réseau du périmètre irrigué de Baguinéda

La zone d'étude correspond à la partie gauche du périmètre colorée en cyan, constituée par les secteurs 1 et 2. Sa superficie est de 1347 ha.

Les principaux projets qui ont été développés sur le périmètre de Baguinéda, l'historique de l'OPIB, le système hydraulique du périmètre et l'organigramme de l'OPIB sont présentés en annexes 2, 3, 4 et 5.

3.1.8. Maintenance du réseau de drainage dans le périmètre irrigué de Baguinéda

Les responsabilités d'entretien du réseau de drainage à Baguinéda sont partagées entre 3 acteurs à savoir l'Etat qui s'occupe de l'entretien de la partie primaire du réseau de drainage, l'OPIB et les exploitants agricoles. Le cahier des charges fixant les clauses et conditions d'exploitation des terres aménagées du périmètre de Baguinéda indique les obligations de l'OPIB et de l'exploitant agricole dans l'entretien du réseau de drainage.

Selon l'article 8 du cahier des charges, l'OPIB doit exécuter tous les travaux d'entretien courant et périodique requis sur le réseau secondaire de drainage en rapport avec le CPEE. L'Article 14 mentionne que tous les travaux d'entretien des réseaux tertiaires et quaternaires d'irrigation et de drainage incombent aux exploitants. Ces travaux d'entretien sont :

- l'entretien courant des réseaux tertiaires et quaternaires (le faucardage des mauvaises herbes et le curage des canaux tertiaires),
- les réparations sur les canaux et drains tertiaires, y compris ceux nécessitant l'intervention d'engins,
- les réparations des ouvrages tertiaires et quaternaires.

Les rôles des différents acteurs intervenant dans l'entretien du réseau secondaire et tertiaire ainsi que l'organisation paysanne à l'OPIB sont présentés en annexe 6.

3.2. Déroulement des enquêtes

3.2.1. Questionnaire

Entre les deux techniques d'enquête que sont les Questionnaires Ouverts Codés (QOC) et les Questionnaires Fermés Codés et Scorés (QFCS), notre choix s'est résolument porté, tout au long de cette étude, sur le deuxième pour plusieurs raisons (Keïta 2016a). En laissant les enquêtés s'exprimer librement, le QOC donne plus de chance de capturer les motivations réelles derrière les comportements. Cependant sa faiblesse majeure est que son analyse statistique est difficile à cause d'une divergence possible des réponses fournies par les enquêtés. En plus, pour pouvoir être traité statistiquement de façon irréprochable, il faut reproduire le groupe d'enquête² idéalement 30 fois (théorème de la limite centrale), ou à défaut 10 à 15 fois, avec au moins 30 enquêtés par groupe d'enquête. Ceci se traduira par 300 enquêtes à réaliser au minimum. Par

² Un groupe d'enquête correspond à un aménagement hydroagricole dans le cas de cette étude.

contre, dans un QFCS, les réponses anticipées sont définies à l'avance par l'investigateur et exposées (sous forme de choix multiples) à l'enquêté, lui permettant ainsi d'affecter les scores à chacune. Le fait d'exposer devant l'enquêté une série de réponses anticipées auxquelles il doit affecter un score peut – mais pas nécessairement – modifier sa réponse "naturelle". Par ailleurs, les réponses anticipées doivent être définies avec le concours d'experts des aménagements. Ces deux aspects constituent les faiblesses du QFCS. Cependant, sa grande force est que toutes les personnes enquêtées évaluent de façon exhaustive les réponses anticipées. De ce fait, on peut considérer uniquement 30 personnes indépendantes par aménagement (Keïta 2016a).

3.2.2. Administration du questionnaire

Le questionnaire conçu contient des thèmes d'enquêtes (TE) auxquels sont associées une ou plusieurs questions de thèmes d'enquêtes (QTE). A chaque QTE est attribuée plusieurs réponses anticipées (RA) ou réponse à la question de thème d'enquête (RQTE) que l'agriculteur doit évaluer. Pour permettre aux agriculteurs, majoritairement analphabète dans le milieu rural, d'attribuer des scores aux réponses anticipées, le WASO (Keïta 2016b) a été utilisé (Figure 6 et 7). Les réponses anticipées ont été écrites sur des bandelettes en papier et placées au niveau de chaque colonne de trous du WASO, permettant ainsi à l'agriculteur d'attribuer les scores. Les scores vont de 1 à 20, selon l'importance du choix de réponse anticipée comme facteur incitatif à l'entretien des drains. L'avantage d'une échelle de notation allant de 1 à 20 est la capacité de mesurer l'intensité de chaque réponse anticipée. L'évaluation individuelle des réponses anticipées par le WASO permet d'éviter l'influence des autres enquêtés dans l'attribution des scores. Le dernier thème d'enquête était laissé à l'appréciation des enquêtés comme une question ouverte « Quel est selon vous le facteur le plus important qui vous inciterait à l'entretien de vos drains ? », permettant aux agriculteurs de signaler tout facteur non anticipé mais important pour eux.

Pour permettre une comparaison entre les différentes RA, l'ordre de passage des enquêtés et l'ordre de soumission des questions aux enquêtés ont été rendus aléatoire (Keïta 2016a; Mathews 2005), en utilisant le logiciel Minitab 17 selon la procédure suivante : **Calc> Random Data> Sample From Columns.**

Un questionnaire a été administré aux agents de l'OPIB afin de comprendre leur point de vue sur la question de l'entretien des réseaux de drainage. Ce questionnaire est présenté en annexe 9.

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

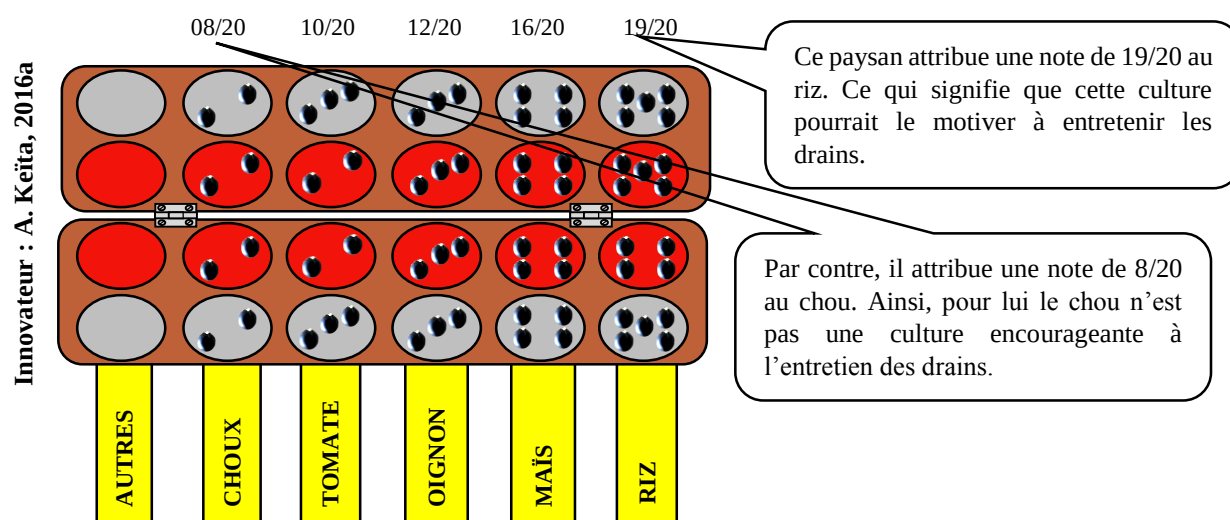


Figure 6: Exemple d'évaluation du pouvoir incitatif du type de culture à l'entretien des drains par le WASO

Le WASO est un outil conçu par le Dr Amadou KEITA à partir de l'AWALE (jeu traditionnel africain utilisant le comptage de petits cailloux) et du SOROBAN (outil de mesure japonais, « boulier japonais »). Il permet de quantifier l'intensité de l'opinion exprimée et de préparer l'analyse statistique. Les grains utilisés lors de l'évaluation proviennent d'un arbre appelé *afzelia africana*. La note attribuée à une réponse anticipée correspond la somme des grains se trouvant dans la colonne qui est devant cette réponse.



Figure 7: Déroulement d'une enquête

Héritier RUTABARA (l'enquêteur) à droite, Souleymane OUEDRAOGO (l'enquêté, paysan PR5) au milieu et Aminata SANOGO (l'interprète) à gauche lors d'une enquête dans le village de Baguinéda Camp.

3.2.3. Prétest à Tiéfara

Le prétest, intitulé essai préliminaire, est une étape fondamentale de l'élaboration et de la validation du questionnaire. Selon Statistique Canada (2003), il sert à :

- découvrir l'ordre ou la rédaction médiocres des questions ;
- repérer les erreurs de présentation ou d'instructions du questionnaire ;
- déterminer les problèmes éventuels si le répondant ne peut ou ne veut répondre aux questions ;

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

- suggérer des catégories de réponse supplémentaires qui peuvent être codées d'avance dans le questionnaire ;
- donner une indication préliminaire de la longueur de l'interview et du taux de réponse (y compris la non-réponse partielle).

Dans le but de valider le questionnaire et d'affiner la méthodologie, un prétest a été mené dans le périmètre rizicole de Tiéfara/Burkina Faso de 16ha (Figure 8). Ce prétest nous a permis de nous assurer de la faisabilité de l'enquête (durée et adhésion des enquêtés), de la qualité des données obtenues et nous a permis de nous familiariser aux pratiques d'enquêtes et à l'interprétation des données. Il a été appliqué sur 14 paysans tirés aléatoirement de la liste des 39 exploitants que comporte le périmètre de Tiéfara.

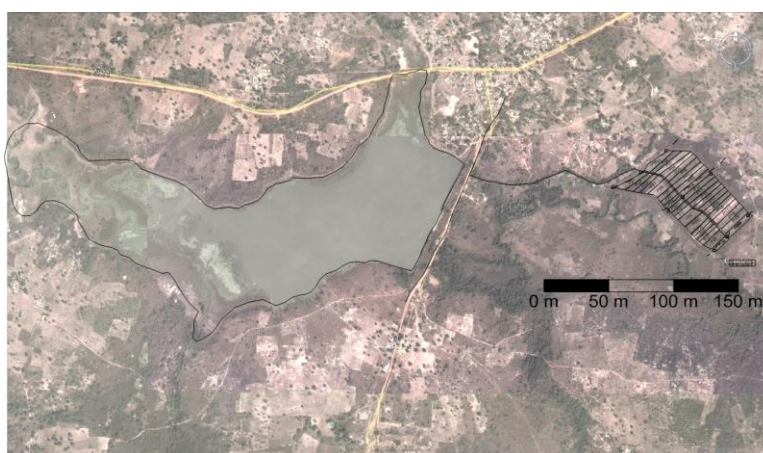


Figure 8: Carte satellitaire indiquant l'emplacement du barrage et du périmètre de Tiéfara
Source : A Keita, 2015

A gauche nous pouvons voir le barrage en couleur grise, suivi d'une ligne noire qui représente le canal en terre d'environ 800m, transportant l'eau vers le périmètre qui est représenté par une figure en losange. Le périmètre fait 16 ha avec 39 parcelles de 0.41ha en moyenne.

En se basant sur les résultats du prétest, et après discussion téléphonique avec notre encadreur, Dr A. Keita et l'équipe de COSTEA/France, les modifications ont été apportées au questionnaire pour son affinement. Pour permettre une vue globale de différentes transformations apportées au questionnaire pour son affinement, le questionnaire testé à Tiéfara et celui administré à Baguinéda sont présentés en annexe 7 et 8.

Le questionnaire administré aux agriculteurs comportait au total 9 TE, 15 QTE et 54 RA (Tableau 2). 288 QTE ont été posées, totalisant 2592 RA évaluées par les 48 agriculteurs enquêtés à Baguinéda Amont (Tableau 3).

Le temps moyen d'enquête était de **1h14min ± 6min**.

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Tableau 2: Thèmes et questions de thèmes d'enquêtes abordés par le questionnaire après prétest

Thèmes d'Enquête (TE)	Questions de thèmes d'enquêtes (QTE)		Nombre de réponses anticipées (RA)
TE 1 Cultures	QTE 1 1	Quel type de culture peut vous inciter à mieux entretenir les drains ?	6
TE 2 Performance de production	QTE 1 2	Pour quel type de culture l'engorgement ou l'inondation du sol vous pose un problème ?	6
	QTE 2 1	Quel rendement du riz serait encourageant pour le nettoyage des drains ?	3
	QTE 2 2	Quel rendement du maïs serait encourageant pour le nettoyage des drains ?	3
	QTE 2 3	Quel rendement d'oignon serait encourageant pour le nettoyage des drains ?	3
	QTE 2 4	Quel rendement de tomate serait encourageant pour le nettoyage des drains ?	3
TE 2 5	QTE 2 5	Quel rendement de choux serait encourageant pour le nettoyage des drains ?	3
TE 3 Matériel d'entretien	QTE 3 1	Quel type de kit d'entretien vous semble approprié pour que vous engagiez personnellement dans l'entretien de vos drains ?	4
TE 4 Équité de distribution d'eau	QTE 4 1	Pensez-vous que le fait que vous ne receviez pas l'eau au bon moment et en quantité suffisante vous décourage à l'entretien des drains ?	3
TE 5 Exploitation agricole	QTE 5 1	Quelle taille d'exploitation à vous attribuer serait la plus motivante pour l'entretien de vos drains ?	5
TE 6 Toxicité en fer	QTE 6 1	Pensez-vous que le problème de fer contribue à la réduction de votre rendement ? Si oui, comment est-ce qu'il impact votre rendement ?	4
TE 7 Problèmes rencontrés et solutions	QTE 7 1	Parmi les problèmes ci-dessous, lesquels vous démotivent pour l'entretien des drains ?	4
	QTE 7 2	Parmi les solutions ci-dessous, lesquelles vous trouvez appropriées au problème de l'entretien des drains ?	5
TE 8 Thème de formation	QTE 8 1	Quel thème de formation vous semble utile pour vous aider efficacement à entretenir les drains ?	5
TE 9 Divers	QTE 9 1	Quel est selon vous le facteur le plus important qui vous inciterait à l'entretien de vos drains ?	1

3.2.4. Échantillonnage

Pour une meilleure comparaison des facteurs incitant à l'entretien des drains, l'échantillonnage appliqué a été du type aléatoire stratifié (Keïta 2016a; Mathews 2005). Le tirage aléatoire a été effectué dans chaque strate et l'ensemble des échantillons tirés dans les différentes strates ont constitué l'échantillon global.

Stratification de la population

La procédure d'échantillonnage a commencé par la stratification de la population. La stratification d'une population n'est possible que lorsque l'on dispose une information

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

auxiliaire dans la base de sondage permettant d'identifier les différentes strates. La base de sondage existante à l'OPIB fournit le statut des paysans (paysan ordinaire ou responsable), le canal secondaire d'irrigation desservant chaque parcelle et la localisation de chaque paysan (village). Ces informations ont été exploitées pour constituer les différentes strates.

L'hypothèse qui a permis de constituer les 2 grandes strates est que l'opinion d'un agriculteur peut varier selon que ce dernier soit un paysan ordinaire ou un paysan responsable. Ce facteur de statut de paysan a permis de diviser la population en deux strates : les paysans ordinaires (PO) et les paysans responsables (PR). En plus, certaines zones ont été identifiées comme ayant des sérieux problèmes de drainage, ce qui s'explique par des inondations fréquentes presque chaque année. L'inondation dans ces zones s'expliquent par : i) la basse topo séquence et ii) zones où les drains secondaires et primaires ne sont pas bien entretenus, créant ainsi une frustration chez les paysans dont les parcelles se situent dans ces zones. Ces dernières ont été considérées comme une sous strate et les zones présentant moins de problème d'inondation ont été considérées comme une autre sous strate (Figure 9).

Sondage stratifié proportionnel (STP)

Comme décrit dans la revue bibliographique, la meilleure technique d'échantillonnage est le STO qui tient compte de la variance du paramètre mesuré au sein de la population. Vu l'absence de l'idée sur la variance des paramètres recherchés au sein de la population, le STP a été appliqué pour sélectionner l'échantillon selon la procédure décrite ci-après (Statistique Canada 2003).

Au départ, les tailles d'échantillons dans les strates des PO et PR ont été fixées respectivement à 30 et 15. Fixer la taille de l'échantillon au-delà de 30 permet de pouvoir appliquer le théorème de la limite centrale, stipulant que la distribution des moyennes des échantillons est normale même si la population n'est pas normale (Keita 2016a; Mathews 2005). Il faut noter que ces tailles ont varié légèrement en fonction du temps qui était imparti pour les enquêtes. Les tailles finales sont consignées dans le tableau 2. Vu que les tailles d'échantillons diffèrent dans les deux strates, le STP a été appliqué uniquement dans les sous strates (Tableau 3). Le taux de sondage est calculé selon la formule ci-dessous :

$$f = n/N$$

Avec **f** : le taux de sondage, **n** : la taille de l'échantillon et **N** : la taille de la population dans une strate

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Les mêmes taux de sondages ont été appliqués dans les villages appartenant aux sous strates pour tenir compte de la répartition géographique de la population sur tout le périmètre. La répartition de l'échantillon selon les villages et la liste des paysans enquêtés sont présentés en annexe 10 et 11.

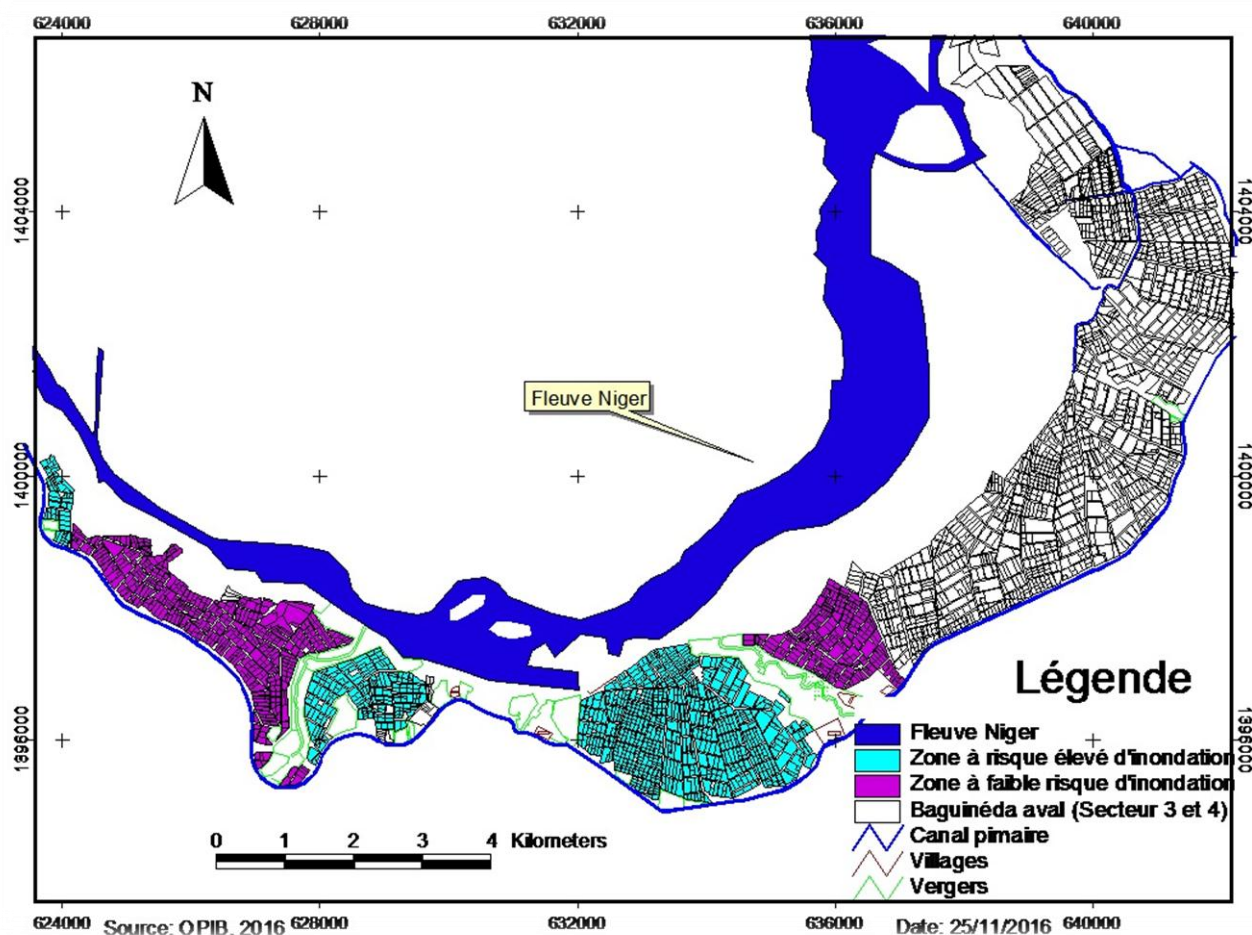


Figure 9: Présentation des zones ayant servies à la stratification pour l'échantillonnage à Baguinéda Amont

Les zones à risque élevé d'inondation, colorées en cyan, sont caractérisées par des inondations fréquentes presque chaque année. Ces dernières ont été considérées comme la sous strate 1 et les zones à faible risque d'inondation, en couleur rose, ont été considérées comme la sous strate 2. L'échantillonnage basé sur la stratification permet d'améliorer la qualité des résultats.

Tableau 3: Répartition de l'échantillon dans les différentes strates et sous strates

Strates	Paysans ordinaires (PO)		Paysans responsables (PR)	
Sous strates	Zone à risque élevé d'inondation	Zone à faible risque d'inondation	Zone à risque élevé d'inondation	Zone à faible risque d'inondation
Effectif total	882	691	177	99
Taux de sondage	2%		5.8%	
Taille échantillon	18	14	10	6

La strate PO est constituée par 1573 paysans. Avec un échantillon de 32 paysans, on a un taux de sondage de 2%. En appliquant ce taux dans chaque sous strate, selon le principe du sondage stratifié proportionnel, nous avons 18 paysans dans la première sous strate et 14 paysans dans la seconde. Le même principe est appliqué dans la strate PR.

3.3. Mesure de la perméabilité du sol

Les matériels utilisés pour faire les mesures sont : le double anneau, une planche, un marteau, un niveau, une règle, un sceau et un chronomètre (Figure 10). Sachant que la géométrie du dispositif (diamètre des anneaux) n'ont pas des répercussions sur la mesure (Boivin 1990) ; deux dispositifs doubles anneaux ont été utilisés. Leurs dimensions respectives (diamètre intérieur et diamètre extérieur) sont : 20mm et 31 mm pour le dispositif 1 ; 16mm et 21 mm pour le dispositif 2. Les deux anneaux sont disposés de façon concentrique sur le sol, puis enfoncés de 5cm dans le sol en utilisant la planche et le marteau. L'enfoncement est réalisé de façon lente et régulière, pour éviter de perturber le sol au voisinage des anneaux. Les deux anneaux doivent être au même niveau et leur alignement est contrôlé au niveau à bulle. L'anneau extérieur est appelé 'anneau de garde' et a pour fonction de garantir une infiltration verticale dans l'anneau central. Le principe du double anneau est de suivre l'évolution du niveau d'eau en fonction du temps dans l'anneau interne pour connaître la vitesse d'infiltration sur chaque pas de temps

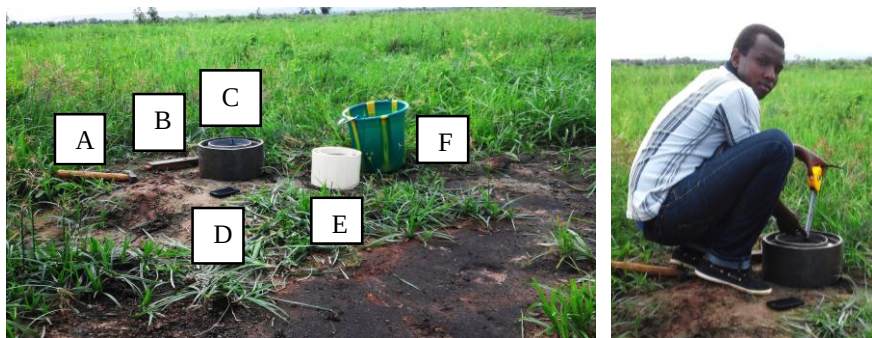


Figure 10: De gauche à droite : Dispositifs de mesure de la perméabilité du sol et lecture du niveau d'eau dans l'anneau intérieur de diamètre 20mm.

Le dispositif double anneau permet de mesurer l'infiltration du sol. Les mesures sont faites dans l'anneau intérieur et l'anneau extérieur, appelé anneau de garde, permet de garantir une infiltration monodimensionnel dans l'anneau intérieur. (A) : marteau, (B) : planche, (C) : double anneau (20mm et 31mm), (D) : chronomètre, (E) : double anneau (16mm et 21mm), (F) : sceau.

Les mesures ont été faites de telle sorte à couvrir toute la zone d'étude sur le périmètre. 13 mesures ont été réalisées au secteur 1 et 12 mesures au secteur 2, totalisant ainsi 25 mesures à Baguinéda amont (secteur 1 et 2). La priorité des mesures d'infiltration a été donnée aux parcelles des personnes enquêtées, afin de confirmer les opinions soulevées lors des enquêtes sur l'influence de la perméabilité du sol à l'entretien des drains. Les analyses statistiques des données et la génération des courbes d'infiltration ont été faites à l'aide du logiciel GraphPad Prism 7.

3.4. Mesure des drains et performance actuelle du réseau de drainage

3.4.1. Mesure des drains

Les sections des drains ont été mesurées dans le but d'apprécier la performance actuelle du réseau de drainage. Les paramètres mesurés sont entre autre la largeur au plafond (B), la pente (I), la profondeur du canal (h), le tirant d'eau (d) et la largeur miroir (L). A part la pente (I), les autres paramètres ont été mesurés à l'aide d'un mètre ruban (Figure 11b). L'appareil STANLEY SPK (Figure 11a) et la mire (Figure 12) ont été utilisés pour déterminer la pente du fond du drain.



Figure 11: (a) STANLEY SPK Single Point Laser Level, (b) Mètre ruban



Figure 12: Mesure de côte de fond dans le drain tertiaire du CT2D au CSB5

La pente du fond du canal est déterminée par le rapport de la dénivelée Δz entre 2 points du drain sur la distance les séparant.

Vu que certains drains contenaient l'eau, il était difficile de mesurer avec une bonne précision la base (b) du canal. Ainsi, en considérant que le fruit de berge (m) est le même pour les deux berges du drain, la valeur de la base (b) a été déduite des autres paramètres par la formule ci-après :

$$b = B - \left(\left(\frac{h}{h-d} \right) \times (B - L) \right)$$

Le choix du nombre de tronçons et de leurs longueurs dépendait de la faisabilité des mesures dans les drains. En effet, les mesures ont été faites dans la période où les drains sont presque rempli d'eau. Vu la profondeur de ces derniers, il n'était pas évident de faire les mesures dans

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

tous les drains. C'est pour cela que nous nous sommes limités aux drains n'ayant pas un tirant d'eau élevé. Les dimensions des paramètres retenus pour chaque drain correspondent à la moyenne des dimensions de ces paramètres dans les différents tronçons mesurés.

3.4.2. Performance actuelle du réseau de drainage

La performance actuelle du réseau de drainage a été appréciée par une vérification de la capacité de ce dernier à évacuer les crues exceptionnelles à savoir la crue décennale et la crue centennale. En principe les drains sont généralement dimensionnés par une pluie décennale, mais vu les sections des drains qui sont énormes, nous avons vérifié non seulement leur capacité à évacuer une crue décennale, mais aussi centennale. La crue exceptionnelle prend en compte la durée admissible de submersion des cultures, la pluie exceptionnelle et les superficies. En générale, on néglige, dans le sens de la sécurité, l'évaporation et l'infiltration (Compaoré 1998). Le débit spécifique est donné par la formule suivante :

$$q_{s\ 10} = \frac{P_{10}}{\theta_a \times 0.36}, \text{ pour la crue décennale et } q_{s\ 100} = \frac{P_{100}}{\theta_a \times 0.36}, \text{ pour la crue centennale.}$$

Avec q_s : le débit spécifique (l/s/ha), P_{10} : La pluie décennale maximale journalière (mm),
 P_{100} : La pluie centennale maximale journalière (mm), θ_a : La durée admissible de submersion des cultures (h).

Nous aurions aimé avoir les données de pluies maximales journalières les plus récentes, mais à défaut de ces dernières, nous avons utilisé les pluies décennale et centennale obtenues suite à une analyse fréquentielle des pluies maximales journalières à la station de Baguinéda de 1952 à 1979 (Degoulet 1984). Les valeurs de P_{10} et de P_{100} à la station de Baguinéda sont respectivement 106.8mm et 154.2mm.

La durée admissible de submersion des cultures considérée est celle des cultures maraîchères. Sa valeur est de 1 jour (Mermoud 2007).

Les crues exceptionnelles ont été comparées avec le débit maximum que chaque drain peut évacuer à ras bord. Si le débit maximum du drain est supérieur aux crues exceptionnelles, alors la performance du drain est toujours bonne. Le débit maximum des drains a été calculé par la formule de Manning-Strickler ci-après, en considérant que les dimensions des drains ne varient pas longitudinalement.

$$Q = K_s \times S \times R_h^{2/3} \times \sqrt{I}$$

Avec Q : le débit (m³/s), K_s : le coefficient de rugosité de Strickler, R_h : le rayon hydraulique(m), S : la section mouillée (m²), I : la pente du canal.

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Le coefficient de rugosité K_s peut prendre une valeur comprise entre 15 et 35 (Compaoré 1998). Nous avons considéré K_s égal à 15 car que les drains contiennent des herbes et parfois des troncs d'arbres, donc plus rugueux.

3.5. Mesures des coordonnées GPS et actualisation de la carte SIG

3.5.1. Mesures des coordonnées GPS

Les coordonnées des drains appartenant aux parcelles de personnes enquêtées ainsi que les coordonnées des points d'infiltration ont été relevés par GPS afin d'être positionnés sur la carte SIG.

Le GPS GARMIN Map 76CSx (Figure 13) a été utilisé. Un test de précision du GPS a été réalisé dans le but d'apprécier la précision affichée sur son écran. Nous avons obtenu en moyenne une précision de $\pm 2.6\text{m}$ en X, $\pm 1.4\text{m}$ en Y et une précision du GPS de $\pm 2\text{m}$. La procédure du test est présentée en annexe 12.



Figure 13: GPS GARMIN Map 76CSx

Prise des coordonnées GPS du débouché d'un drain tertiaire.

48 coordonnées de débouchés des drains et 25 coordonnées de points d'infiltrations ont été relevées, totalisant ainsi 73 mesures de coordonnées GPS à Baguinéda amont (secteur 1 et 2).

3.5.2. Actualisation de la carte SIG

Le carte du périmètre a été mise à jour afin d'intégrer les éléments couverts par l'étude. La carte SIG actualisée a été produite à partir de la carte autocad (format DWG) du plan parcellaire du périmètre de Baguinéda fournie par l'OPIB. Pour être importée dans le logiciel SIG, la carte autocad du plan parcellaire a d'abord été transformée en format DXF, format compatible avec les logiciels SIG. Une fois la carte importée dans le logiciel SIG, les thèmes ont été créés à partir des différents calques présents dans le fichier DXF. Après création des thèmes, ces derniers ont été convertis en shapefile (format SHP), afin de pouvoir les ouvrir et leur apporter des modifications indépendamment les uns des autres dans une vue.

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Les éléments qui ont été ajoutés sur la carte existante sont entre autres ; les parcelles de personnes enquêtées, les coordonnées XY de débouchés des drains appartenant aux parcelles de personnes enquêtées et les coordonnées GPS des points de mesures d'infiltrations (Figure 14).

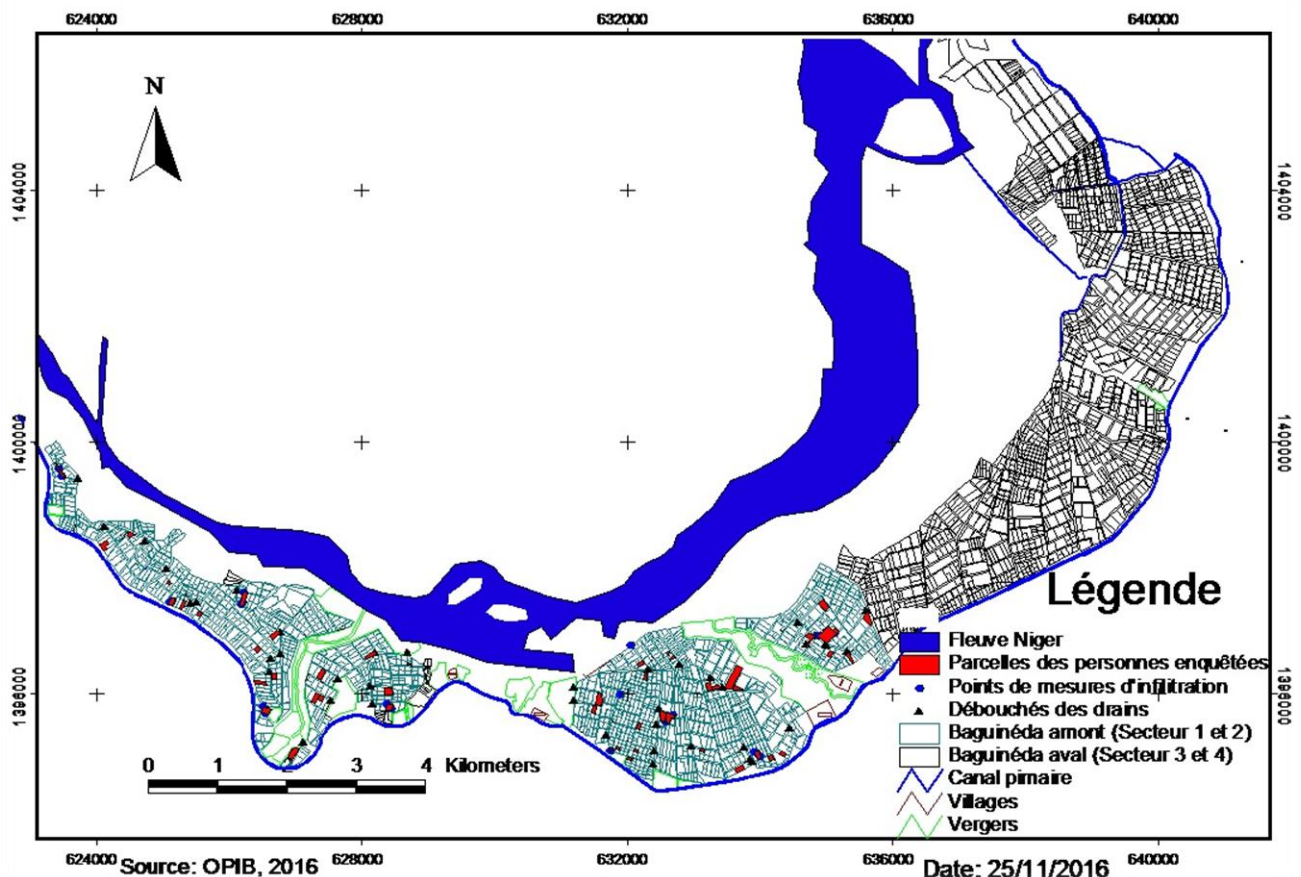


Figure 14: Carte SIG actualisée du périmètre irrigué de Baguinéda

La partie du périmètre qui constitue notre zone d'étude est la partie gauche (1347ha), colorée en Cyan. Les parcelles de personnes enquêtées, en couleur rouge, ont été choisies aléatoirement suite à une stratification de la population. 25 mesures de perméabilité du sol ont été faites de telle sorte à couvrir tout le site d'étude (Secteur 1 et 2) sur le périmètre.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Diagnostic hydraulique du réseau de drainage

4.1.1. Etat actuel des drains

Le travail de terrain a commencé par un diagnostic visuel du réseau de drainage dans le but de déterminer les zones à problème de drainage. Une sortie sur le terrain a permis de constater un déficit d'entretien du réseau de drainage et une dégradation de ce dernier. Les observations suivantes ont été faites :

- Les puits sont creusés dans les drains pour faire la maraîcher culture en saison sèche lorsque il y'a insuffisance d'eau d'irrigation (figure 15).
- Les problèmes d'érosions dans certaines parties de drains.
- Les drains non curés.
- Les barrages sont érigés dans les drains pour réduire les pertes par percolation et maintenir la lame d'eau dans la parcelle pour le riz (Figure 16)
- Durant toute la campagne les drains sont remplis d'eau, principalement à cause des barrages mais aussi d'une mauvaise gestion de l'eau d'irrigation.



Figure 15: Exemple d'un puits dans le drain et le tas de terre déposé dans le drain

Le tas de terre déposé à côté du puits freine l'écoulement, ce qui inonde dans la plupart des cas les parcelles situées juste à côté du drain.



Figure 16 : Exemple de barrage en terre dans un drain tertiaire

Les barrages dans les drains entraînent des stagnations d'eaux sales et les inondations suite à des événements pluvieux.

Après discussion avec des personnes ressources de l'OPIB, il est ressorti que le manque d'entretien des drains tertiaires est généralisé sur tout le périmètre. Cependant, certaines zones ont été identifiées comme ayant des sérieux problèmes de drainage, ce qui s'explique par des inondations fréquentes presque chaque année. Par ailleurs, ces zones ont été prises en compte lors de la constitution de l'échantillon pour les enquêtes. Ces zones sont:

- Au secteur 1 : drain 1 (CSK1-CSK2), drain 5 et 6 (CSK13-CSK 16) ;
- Au secteur 2 : drain10 (CSB4-CSB9).

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Dans le but de savoir le fonctionnement hydraulique des drains lors des événements extrêmes, une question sur l'apparition des crues exceptionnelles a été posée aux enquêtés. Tous ont déclaré ne pas se souvenir des années où il y a eu des grandes inondations. Néanmoins, ils ont signalé que lorsqu'il y a eu des pluies exceptionnelles, les parcelles ont été inondées pendant plusieurs jours.

4.1.2. Caractérisation des paramètres et performance du drainage

4.1.2.1. Caractéristiques hydrauliques du système

Afin d'apprécier la performance actuelle du réseau de drainage, quelques mesures ont été faites sur le réseau de drainage. 1 drain secondaire au secteur 1 (drain 3b) et 2 drains tertiaires au secteur 2 (le drain tertiaire du CT2D au CSB5 et le drain tertiaire du CT10D au CSB4) ont fait l'objet de ces mesures. Les paramètres ont été mesurés sur 1 ou 2 tronçons sur chaque drain et leurs valeurs moyennes ont été retenues (tableau 4). Les profils en travers de tous les tronçons mesurés sont présentés en annexe 18.

Tableau 4: Dimensions moyens actuels des drains

Paramètres	Drain tertiaire du CT2 droite au CSB5	Drain tertiaire du CT10 droite au CSB4	Drain 3b
B (m)	3.6	4.85	8.5
L (m)	2.3	2.9	
h (m)	0.6	0.72	1
d (m)	0.19	0.24	
b (m)	1.76	1.99	5
m (fruit de berge)	1.53	2	1.75
I (%)	1.09%	0.76%	0.78%

B : largeur au plafond, **L** : largeur miroir, **h** : la profondeur du canal, **d** : tirant d'eau, **b** : base du canal, **I** : pente.

Les dimensions initiales de drains tertiaires et secondaires sont (NIPPON 1989) :

Tableau 5: Dimensions initiales des drains

Paramètres	Drains tertiaires	Drains secondaires
h (m)	0.80	0.80-1.30
d (m)	0.60	
b (m)	0.30	0.50-1.00
m (fruit de berge)	1	3/2

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Les résultats de mesures des drains montrent que les sections de ces derniers ont varié comparativement aux dimensions initiales. La profondeur (h) du canal a diminué tandis que la base (b) et le fuit de berge ont augmenté. La diminution de la profondeur explique le non curage des canaux, qui se remplissent au fur et à mesure. Cependant la différence entre les dimensions actuelles de la base et les dimensions initiales, lors de la conception, est très énorme. Cet écart peut s'expliquer par deux facteurs. Le premier est l'effet direct de l'érosion. En effet, les drains sont en terre et les talus ne sont pas protégés. Face à une forte pluie, ces canaux sont assujettis à l'effet de l'érosion et des glissements de terres, pouvant effectivement augmenter la largeur des drains. Le second, comme l'explique SEE (2014), est que les drains ont servi d'emprunt pour la construction des pistes de dessert et des plates formes d'arroseurs. Ainsi, la base des drains a été augmentée lors de l'exécution pour extraire le volume des terres nécessaire à la construction des pistes. Ce dernier facteur semble plus probable.

4.1.2.2. Capacité de drainage actuelle en cas d'événement extrême

Le tableau 6 présente les débits maximums que peuvent évacuer les drains mesurés à ras bord et les débits que peuvent recueillir ces derniers en cas de pluie exceptionnelle.

Tableau 6: Comparaison des débits max que peuvent évacuer les drains et les débits décennaux

Débits	Drain tertiaire du CT2 droite au CSB5	Drain tertiaire du CT10 droite au CSB4	Drain 3b
Q max drain (m³/s) (Dimensions actuelles)	1.4	2.0	7.4
Q décennal (m³/s) (Théorique)	0.087	0.05	0.54
Q centennal (m³/s) (Théorique)	0.126	0.071	0.785

Le réseau de drainage actuel a été surdimensionné car, pour chaque drain, les débits exceptionnels sont largement inférieurs au débit maximal qui peut être évacué à ras bord (Tableau 6). Bien que les sections des drains soient suffisamment grandes pour évacuer les crues exceptionnelles, il y a souvent des inondations dans certaines zones du périmètre. Ceci est dû à l'existence des barrages dans les drains qui freinent l'écoulement et le mauvais état des débouchés des drains, ce qui prouve le manque d'entretien des drains. En plus, la comparaison des dimensions initiales aux dimensions actuelles a révélé que la profondeur des drains a diminué à cause du non curage. L'évolution de ce phénomène ne provoquera que le bouchage des drains, d'où la nécessité d'un entretien régulier et continu de ces derniers.

4.1.3. Fonctions des drains selon les paysans

Le diagnostic visuel et les enquêtes ont permis d'identifier les différentes fonctions jouées par le réseau de drainage. Lors des enquêtes, 100% des paysans enquêtés ont reconnu le rôle premier des drains qui est d'évacuer le surplus d'eau hors du périmètre et d'intercepter les eaux sauvages. Cependant, d'autres rôles, qui ont été confirmés suite à une visite sur le périmètre, ont été ressortis. Ces différents rôles sont :

- L'irrigation : les drains sont utilisés pour irriguer les parcelles ayant les problèmes d'irrigation. Ceci est fréquent dans les zones éloignées des prises secondaires où les débits sont insuffisants, et les zones avec problème de calage des canaux tertiaires d'irrigation. Ce rôle a été mentionné par 25% des enquêtés.
- Maintenir la lame d'eau dans les parcelles : dans les zones très perméables, les barrages sont érigés dans les drains afin de réduire les percolations et favoriser la remontée de l'eau par infiltration dans les parcelles. Ce rôle a été mentionné par 21% des enquêtés.
- La pêche et la pisciculture : les barrages dans les drains entraînent la stagnation de l'eau pendant des mois permettant la croissance des poissons. Certains paysans entretiennent les drains à côté de leurs parcelles dans le seul but d'attirer les poissons. Selon leurs explications, en période hivernale, lorsque les drains sont propres, les poissons y sont en abondance, ce qui leur permet de faire la pêche (Figure 17). Ce rôle a été mentionné par 19% des enquêtés.
- La décharge : les drains reçoivent toutes sortes de déchets qui contribuent à leur remplissage et favorisent les stagnations d'eaux sales (Figure 18). Ce rôle a été mentionné par 7% des enquêtés.



Figure 17: Exemple d'un piège à poissons dans un drain

Les pièges à poissons dans les drains montrent que ces derniers permettent de faire la pisciculture.



Figure 18: Remplissage de drains par les débris de maïs

Les drains sont perçus par certains paysans comme une décharge, ce qui contribue à leur remplissage.

4.2. Résultats des enquêtes

Dans le but de cerner le pouvoir incitatif des facteurs à l'entretien des drains, la nécessité de connaître les différences entre les différentes réponses anticipées pour chaque question au thème d'enquête s'impose. Pour y arriver, nous avons fait appel aux outils statistiques, permettant ainsi de savoir si les différents niveaux de chaque facteur sont significativement différents. Il existe deux méthodes pour analyser les données, à savoir les méthodes paramétriques et les méthodes non-paramétriques. Les méthodes paramétriques, qui testent les moyennes, exigent un certain type de distribution, comme la distribution normale ; tandis que les méthodes non-paramétriques, qui testent les médianes, n'exigent pas que les données suivent une certaine distribution (Rumsey 2009; Saporta 2006). Les méthodes non-paramétriques sont une alternative des méthodes paramétriques.

Le modèle one-way ANOVA (analyse des variances à un facteur) a été utilisé pour ce qui est du test paramétrique ; le test des signes (sign test), le test de Mann-Whitney ainsi que le test de Kruskal-Wallis ont été utilisés dans le cas des tests non-paramétriques. Le logiciel Minitab nous a permis de mener tous ces tests. Cependant, il faut noter que chaque test a des conditions d'application (Montgomery 2008). Ces conditions sont présentées en annexe 12.

L'hypothèse de stratification de l'échantillon selon laquelle les avis diffèrent selon le statut du paysan (PO ou PR), n'était pas valide sur tous les QTE. Après l'analyse des résultats de ces deux strates, nous nous sommes rendu compte que, pour plusieurs QTE, les avis ne diffèrent pas selon le statut paysan. Dans la suite, les résultats de deux strates seront présentés uniquement dans le cas où ils diffèrent ; dans le cas contraire les observations des deux strates seront traitées et analysées ensemble.

4.2.1. Une culture moins sensible à l'engorgement ou l'inondation du sol est un obstacle à l'entretien des drains (TE1)

❖ QTE 1.1 : Quel type de culture peut vous inciter à mieux entretenir les drains ?

Les conditions de validité d'ANOVA sont réunies seulement pour quatre cultures, à savoir le maïs, l'oignon, la tomate et le chou. Le graphe de normalité (Figure 19-A), montre que les résidus de ces quatre cultures sont alignés sur la droite, prouvant ainsi leur normalité. En plus, l'homoscédasticité est vérifiée (Figure 19-C), ce qui a été confirmé par le test de Levene (P-value : $0.053 > 0.05$). Le test des signes a été appliqué à la culture du riz, vu que sa variance est différente des autres cultures (annexe 14.1). Ensuite ce même test a été appliqué au maïs pour

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

faire ressortir la différence en termes de médianes entre le riz et le maïs (Tableau 9), dans le but de tirer une conclusion générale sur le pouvoir incitatif à l'entretien des drains de toutes les cultures.

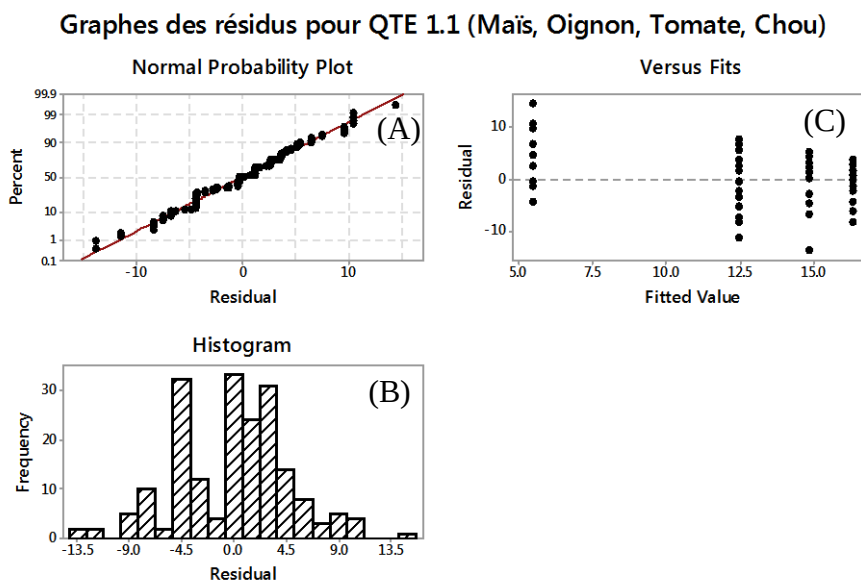


Figure 19: Graphes des résidus pour QTE 1.1 (Maïs, oignon, tomate, chou)

La normalité des résidus (A, B) et l'homoscédasticité (C) sont vérifiées, prouvant ainsi la validité d'ANOVA.

Tableau 7: One-way ANOVA pour QTE 1.1: Maïs; Oignon; Tomate; Choux

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Facteur	3	3329	1109.55	45.48	0.000
Erreur	188	4587	24.40		
Total	191	7915			

Les quatre cultures sont significativement différentes ($p < 5\%$) quant à leur pouvoir incitatif à l'entretien des drains selon les paysans.

Tableau 8: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 1.1

Facteur	N	Moyenne	Groupement ^(a)
Maïs	48	16.333	A
Tomate	48	14.854	A B
Oignon	48	12.479	B
Chou	48	5.479	C

^(a)Les moyennes qui ne partagent par une même lettre sont significativement différentes
Parmi les quatre cultures, le maïs est plus motivant à l'entretien des drains, mais il n'est pas significativement différent à la tomate.

Tableau 9: Test des signes pour les cultures du riz et du maïs, QTE 1.1

Test des signes pour la médiane = 20.00 versus $\neq$ 20.00						
	N	Below	Equal	Above	P	Median
Riz	48	3	45	0	0.2500	20.00
Maïs	48	41	7	0	0.0000	16.00

Du point de vue paysan, le riz est plus incitatif à l'entretien des drains que le maïs, car sa médiane n'est pas significativement différente de 20 ($p : 25\%$) alors que la médiane du maïs est significativement inférieure à 20 ($p : 0\%$).

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Au vu de ces résultats, il ressort que, selon les paysans, le riz est la culture la plus encourageante à l'entretien des drains, ensuite vient le maïs suivi de la tomate et de l'oignon. Par contre, le chou, avec une faible moyenne de 5.5/20, n'est pas encourageant à l'entretien des drains.

Selon les agriculteurs, le riz et le maïs encouragent à l'entretien des drains car ils présentent plusieurs avantages plus que les autres cultures. Premièrement, ce sont des produits de consommation de base. En plus, leur conservation est facile et la demande sur le marché est forte, permettant ainsi un écoulement facile. Ces avis sont soutenus par l'étude de Dupaigre et al. (2006) sur la compétitivité des filières agricoles, montrant que le riz et le maïs font partis des 5 filières prioritaires de l'UEMOA, surtout à cause de leur importance en matière de consommation. Bien qu'une partie de la production de l'oignon et de la tomate soit autoconsommée, une grande partie est destinée à la vente, permettant ainsi de satisfaire les besoins de la famille autre que les besoins en nourriture, ce que confirme Sourisseau (2000) cité par Coulibaly et al. (2006). De plus l'avenir du maraîchage irrigué apparaît plus promoteur, puisque l'urbanisation des pays sahéliens et de leurs voisins côtiers augmente fortement la demande (Dupaigre et al. 2006 cité par Barbier et al. 2011). Par contre, la plupart des paysans enquêtés ne pratiquent pas la culture du chou et la jugent démotivant à l'entretien des drains, car il nécessite beaucoup d'entretien pour sa croissance et sa demande sur le marché local est faible.

Pour le facteur 'autre', laissant la possibilité aux enquêtés de signaler toute autre culture motivant en l'entretien des drains, quelques cultures ont été citées. Cependant, ces motivations ne peuvent pas être statistiquement appréciées, car il n'y a pas eu beaucoup des convergences d'opinions sur les cultures citées. Ces cultures sont entre autre le concombre, la pomme de terre, le gombo, le haricot et l'aubergine.

Contrairement à ce que les paysans affirment, le réseau de drainage n'est pas entretenu alors que les cultures incitant à son entretien selon eux sont pratiquées. Il est possible que les paysans n'arrivent pas à faire un lien entre le type des cultures et la motivation à l'entretien des drains, ce qui se voit au niveau des commentaires qu'ils avancent. En effet, selon eux, la motivation d'une culture dépend du degré de *consommation* et de *l'importance sur le marché*, ce qui ne fait pas ressortir le lien entre le type de culture et l'entretien du réseau de drainage. Une analyse intra thème qui combine les résultats du QTE1.1 et du QTE1.2, présentée un peu plus loin dans ce mémoire, permettra une meilleure compréhension de l'influence du type de culture sur l'entretien des drains.

❖ QTE 1.2 : Pour quel type de culture l'engorgement ou l'inondation du sol vous pose un problème ?

Le but de cette question était de savoir si les paysans connaissent l'effet de l'engorgement ou l'inondation du sol, conséquences directes d'un mauvais drainage, sur les cultures, et pour appuyer la QTE précédente. ANOVA a été appliquée sur le maïs, l'oignon, la tomate et le chou, car ces cultures remplissent ses conditions d'application. Le test des signes a été appliqué au riz, car sa variance est très différente des autres (annexe 14.2).

Tableau 10: One-way ANOVA pour QTE 1.2: Maïs; Oignon; Tomate; Choux

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	102.1	34.03	2.23	0.086
Error	179	2725.5	15.23		
Total	182	2827.6			

Les quatre cultures ne sont pas significativement différentes ($p : 8.6\% > 5\%$) quant à leur sensibilité à l'engorgement ou l'inondation du sol. Ce qui est confirmé par le test de Tukey (Tableau 10)

Tableau 11: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 1.2

Facteur	N	Moyenne	Groupement ^(a)
Tomate	48	16.771	A
Chou	40	15.225	A
Maïs	47	15.128	A
Oignon	48	14.938	A

^(a)Les moyennes qui ne partagent par une même lettre sont significativement différentes

Tableau 12: Test des signes pour la culture du riz, QTE 1.2

Test des signes pour la médiane = 1.00 versus $\neq$ 1.00					
	N	Below	Equal	Above	P Median
Riz	48	0	44	4	0.1250 1.000

Le fait que la médiane du riz n'est pas différente de 1 ($p > 5\%$), montre que cette culture n'est pas sensible à l'engorgement ou l'inondation du sol selon les paysans.

Ces résultats paraissent logiques. En effet, les cultures maraîchères ainsi que le maïs ne supportent pas l'engorgement du sol. Par ailleurs, certains paysans mentionnent que ces cultures ne peuvent pas faire plus de deux jours dans l'eau, sous le risque de perdre complètement la production. Par contre, le riz est une culture qui grandit bien dans l'eau, ce qui fait qu'il n'est pas sensible à l'engorgement du sol selon les paysans. Ces résultats corroborent les résultats de Kahlow et al. (2002), qui sont arrivés à une conclusion que l'engorgement du sol a des effets significatifs sur les rendements de presque toutes les cultures excepté le riz. Ceci montre qu'une culture peu sensible à l'engorgement ou l'inondation du sol n'incite pas à l'entretien des drains, même s'elle est appréciée par les agriculteurs. Néanmoins, la plupart des paysans reconnaissent que la lame d'eau dans les casiers rizicoles doit être renouvelée régulièrement pour permettre l'aération du sol afin d'éviter l'apparition des intoxications comme la toxicité ferreuse.

4.2.2. Une bonne performance de production peut inciter à l'entretien du réseau de drainage (TE2)

❖ QTE 2.1 : Quel rendement du riz serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Pour cerner le rendement du riz encourageant à l'entretien des drains, trois rendements à savoir *3t/ha*, *5t/ha* et *10t/ha ou plus* ont été évalués par les agriculteurs. Seuls les rendements de *3t/ha* et *5t/ha* remplissent les conditions d'application d'ANOVA (annexe 14.3). Le test des signes a été appliqué au rendement de *10t/ha ou plus*, car sa variance est très différente de variances des autres rendements. En plus, ce même test a été appliqué au facteur *5t/ha*, afin de comparer sa médiane à celle de *10t/ha ou plus* (Tableau 15).

Tableau 13: One-way ANOVA pour QTE 2.1: *3t/ha* et *5t/ha*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	1	1291	1290.67	73.71	0.000
Error	94	1646	17.51		
Total	95	2937			

Les moyennes des scores de '*3t/ha*' et '*5t/ha*' sont significativement différentes ($p < 5\%$).

Tableau 14: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 2.1

Facteur	N	Moyenne	Groupement ^(a)
<i>5t/ha</i>	48	12.854	A
<i>3t/ha</i>	48	5.521	B

^(a)Les moyennes qui ne partagent par une même lettre sont significativement différentes

5t/ha est plus encourageant à l'entretien des drains que *3t/ha*.

Tableau 15: Test des signes pour *10t/ha ou plus* et *5t/ha*, QTE 2.1

Test des signes pour la médiane = 20.00 versus $\neq$ 20.00						
	N	Below	Equal	Above	P	Median
<i>10t/ha ou plus</i>	48	3	45	0	0.2500	20.00
<i>5t/ha</i>	48	41	7	0	0.0000	16.00

10t/ha ou plus est plus encourageant à l'entretien des drains que *5t/ha*, car sa médiane n'est pas différente de 20 ($p : 25\%$), alors que la médiane de '*5t/ha*' est significativement différente de 20 ($p : 0\%$).

Les résultats montrent qu'un rendement élevé (*10t/ha ou plus*) est plus encourageant à l'entretien des drains. Selon les agriculteurs, plus ils gagnent un bon rendement, plus ils seront motivés à entretenir les drains afin de toujours optimiser leur rendement. Un rendement élevé leur permettra de se nourrir et de réaliser beaucoup des bénéfices à travers la commercialisation. Ceci explique les scores attribués à *10t/ha ou plus* (19.83/20). Par ailleurs 37.5% des enquêtés ont mentionné que leur rendement moyen actuel du riz varie entre $4.12 \pm 0.6t/ha$ et $6.82 \pm 0.7t/ha$. Selon Barbier et al. (2011), dans le cas d'une maîtrise totale de l'eau, les rendements du riz varient entre *4t/ha* et *6t/ha*, ce qui confirme les estimations des paysans.

❖ QTE 2.2 : Quel rendement du maïs serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

5t/ha, 10t/ha et 15t/ha ou plus ont été évalués par les paysans pour identifier le rendement du maïs le plus encourageant à nettoyer les drains. ANOVA a été appliquée seulement sur 5t/ha et 10t/ha car ces derniers remplissent ses conditions d'application. 15t/ha a été analysé par le test des signes car sa variance est très différente des variances des autres rendements (annexe 14.4)

Tableau 16: One-way ANOVA pour QTE 2.2: 5t/ha et 10t/ha

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	1	704.2	704.17	60.30	0.000
Error	94	1097.8	11.68		
Total	95	1802.0			

Les moyennes de '5t/ha' et '10t/ha' sont significativement différentes ($p < 5\%$).

Tableau 17: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 2.2

Facteur	N	Moyenne	Groupement ^(a)
10t/ha	48	14.854	A
5t/ha	48	9.438	B

^(a)Les moyennes qui ne partagent pas une même lettre sont significativement différentes
Ce tableau fait ressortir que 5t/ha est plus encourageant à l'entretien des drains que 3t/ha.

Tableau 18: Test des signes pour 15t/ha ou plus et 10t/ha, QTE 2.2

Test des signes pour la médiane = 20.00 versus $\neq$ 20.00						
	N	Below	Equal	Above	P	Median
15t/ha ou plus	48	3	45	0	0.2500	20.00
10t/ha	48	48	0	0	0.0000	16.00

Le rendement de 15t/ha ou plus est plus encourageant à nettoyer les drains que le rendement de 10t/ha.

Selon les estimations de 36% des enquêtés, le rendement moyen du maïs à Baguinéda varie entre $2.74 \pm 0.7t/ha$ et $4.18 \pm 1t/ha$. La note moyenne attribuée au rendement de 5t/ha (9.4/20) montre que le rendement maximum moyen actuel (4.18t/ha) n'est pas encourageant à l'entretien des drains. C'est la raison pour laquelle un rendement de maïs de 15t/ha ou plus serait plus encourageant à l'entretien des drains, selon les paysans. Néanmoins, la note moyenne attribuée à 10t/ha (14.85/20), laisse croire que ce dernier est moyennement encourageant à l'entretien des drains.

❖ QTE 2.3 : Quel rendement d'oignon serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Afin d'identifier le rendement d'oignon incitatif à l'entretien des drains, 3 rendements à savoir 15t/ha, 20t/ha et 30t/ha ou plus ont été évalués. Les conditions d'application d'ANOVA sont valides pour la comparaison de 15t/ha et 20t/ha (annexe 14.5). Le rendement de 30t/ha ou plus a été analysé par le test des signes car sa variance est différente des variances des autres cultures.

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Tableau 19: One-way ANOVA pour QTE 2.3: 15t/ha et 20t/ha

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	1	590.0	590.04	32.76	0.000
Error	94	1692.9	18.01		
Total	95	2283.0			

Les moyennes de '15t/ha' et '20t/ha' sont significativement différentes ($p < 5\%$).

Tableau 20: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 2.3

Facteur	N	Moyenne	Groupement ^(a)
20t/ha	48	14.083	A
15t/ha	48	9.125	B

^(a)Les moyennes qui ne partagent pas une même lettre sont significativement différentes. Ce tableau montre que 20t/ha est plus encourageant à l'entretien des drains que 15t/ha.

Tableau 21: Test des signes pour 30t/ha ou plus et 20t/ha, QTE 2.3

Test des signes pour la médiane = 20.00 versus $\neq$ 20.00						
	N	Below	Equal	Above	P	Median
30.00t/ha ou plus	48	3	44	0	0.2500	20.00
20.00t/ha	48	48	0	0	0.0000	16.00

Le rendement de 30t/ha ou plus est plus encourageant à nettoyer les drains que le rendement de 20t/ha.

Selon les estimations de 30% des enquêtés, le rendement moyen de l'oignon à Baguinéda Amont varie entre $14 \pm 4.5t/ha$ et $20 \pm 4t/ha$. Le rendement le plus encourageant à entretenir les drains selon les paysans (30t/ha ou plus), est bien supérieur au rendement maximum moyen actuel. Ceci prouve bien qu'une grande productivité inciterait les agriculteurs à entretenir les drains. Comme expliqué précédemment, un grand rendement leur permet de réaliser un grand bénéfice, en ce sens que l'entretien des drains leur permettra d'optimiser d'avantage leur production.

❖ QTE 2.4 : Quel rendement de tomate serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Les conditions d'application d'ANOVA sont valides pour la comparaison de 15t/ha et 20t/ha (annexe 14.6). Le rendement de 30t/ha ou plus a été analysé par le test des signes car sa variance est différente des variances des autres cultures.

Tableau 22: One-way ANOVA pour QTE 2.4: 15t/ha et 20t/ha

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	1	630.4	630.37	37.50	0.000
Error	94	1580.1	16.81		
Total	95	2210.5			

Les moyennes de '15t/ha' et '20t/ha' sont significativement différentes ($p < 5\%$).

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Tableau 23: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 2.4

Facteur	N	Moyenne	Groupement ^(a)
20t/ha	48	13.938	A
15t/ha	48	8.813	B

^(a) Les moyennes qui ne partagent pas une même lettre sont significativement différentes. Ce tableau montre que 20t/ha est plus encourageant à l'entretien des drains que 15t/ha.

Tableau 24: Test des signes pour 30t/ha ou plus et 20t/ha, QTE 2.4

Test des signes pour la médiane = 20.00 versus $\neq$ 20.00						
	N	Below	Equal	Above	P	Median
30t/ha ou plus	48	5	43	0	0.0625	20.00
20t/ha	48	48	0	0	0.0000	15.00

Le rendement de 30t/ha ou plus est plus encourageant à nettoyer les drains que le rendement de 20t/ha

Contrairement aux cultures précédentes, 11% des enquêtés ont affirmé avoir réalisé un rendement moyen de la tomate de $73.2 \pm 32t/ha$, ce qui est bien supérieur à 30t/ha. Bien que tout le monde ne fait pas la tomate, la quasi-totalité des enquêtés convergent sur le fait qu'un rendement élevé motive à l'entretien des drains. Ceci suscite une question dans l'esprit à savoir 'Pourquoi certains paysans n'entretiennent pas les drains alors qu'ils arrivent à réaliser un rendement qu'ils jugent incitant à entretenir les drains ?'. Bien qu'un rendement élevé puisse inciter à entretenir les drains, il faudrait bien que les paysans sachent que le mauvais état des drains peut impacter négativement leur rendement. C'est ainsi qu'ils pourront entretenir les drains dans le but de toujours optimiser leur rendement.

❖ QTE 2.5 : Quel rendement de chou serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Les rendements du chou comparés sont entre autre 15t/ha, 20t/ha et 30t/ha ou plus. Les résidus de ces trois facteurs ne suivent pas une distribution normale, ce qui invalide l'utilisation d'ANOVA. Néanmoins, les formes de leurs distributions sont presque identiques et leurs variances ne sont pas significativement différentes (annexe 14.7), permettant ainsi de faire des comparaisons à base des tests non-paramétriques. Le test de Kruskal-Wallis ainsi que le test de Mann-Whitney, post test du test de Kruskal-Wallis, ont été utilisés afin d'identifier les différences entre les médianes.

Tableau 25: Le test de Kruskal-Wallis sur le QTE 2.5

RQTE	N	Median	Ave Rank	Z
15t/ha	48	10.00	40.5	-6.51
20t/ha	48	16.00	69.5	-0.61
30t/ha ou plus	48	20.00	107.5	7.12
Overall	144		72.5	
H = 62.29	DF = 2	P = 0.000		
H = 63.79	DF = 2	P = 0.000 (adjusted for ties ^(c))		

^(c) On parle de tie (égalité), lorsque plusieurs données ont une même valeur (Rumsey 2009). Il existe une différence significative entre les médianes de ces trois rendements ($p < 5\%$)

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Tableau 26: Le test de Mann-Whitney sur chaque paire des médianes

	15t/ha-20t/ha	15t/ha-30t/ha	20t/ha-30t/ha
$\eta_1 - \eta_2^{(b)}$	-4	-8	-4
P-value	0	0	0

^(b) Différence des médianes

Toutes les médianes sont significativement différentes, avec un p-value de 0% pour chaque comparaison.

Bien que la culture du chou ne soit pas appréciée par les paysans, ils estiment néanmoins qu'un grand rendement du chou (*30t/ha ou plus*) pourrait les inciter à entretenir le réseau de drainage, ce qui appui les résultats précédents dans ce thème d'enquête.

Discussion générale sur la performance de la production

Nous pouvons retenir de résultats de ce thème d'enquête qu'une bonne performance de la production peut inciter à l'entretien des drains. Mais toutefois, nous ne pouvons pas conclure directement qu'un mauvais rendement dé motive à l'entretien des drains. En effet, certains paysans interviewés ont pu réaliser les rendements jugés motivant à l'entretien des drains, cas de la tomate, alors que leurs drains restent non entretenus. Ceci montre que, tant qu'il n'y a pas des contraintes majeures dans les parcelles qui peuvent détruire leurs cultures, comme l'inondation suite à une forte pluie, les paysans ne pensent pas à l'entretien des drains. Il faudra bien les amener à comprendre que le mauvais état de drains peut impacter négativement leur production. C'est ainsi qu'ils pourront faire l'entretien des drains leur priorité, dans le but de toujours optimiser leur rendement.

Les rendements moyens réalisés sur 15 ans sur l'ensemble du périmètre de Baguinéda, de 2001 à 2015 (Tableau 27), sont inférieurs aux rendements jugés motivant à l'entretien des drains par les paysans, ce qui montre qu'un rendement élevé peut motivé à entretenir les drains.

Tableau 27: Rendements moyens réalisés sur 15 ans dans le périmètre de Baguinéda

Période	Type de culture	Rendement moyen (t/ha) à 95% d'IC
Contre saison	Chou	24.78 ± 3.8
	Oignon	18.59 ± 1.2
	Tomate	20.59 ± 2.6
	Riz	4.2 ± 0.6
	Maïs	1.81 ± 0.2
Saison hivernale	Riz	4.51 ± 0.3
	Maïs	2.32 ± 0.3

Source des données : OPIB

Les rendements moyens réalisés sur 15 ans (2001-2015) sur l'ensemble du périmètre sont inférieurs aux rendements jugés motivant à l'entretien des drains par les paysans, ce qui montre qu'un rendement élevé peut motivé à entretenir les drains. Les rendements en saison hivernale sont supérieurs aux rendements en saison sèche, ce qui s'explique par l'insuffisance d'eau d'irrigation en contre saison. (Voir QTE4 pour plus de détails).

4.2.3. Les matériels d'entretien adéquats facilitent l'entretien des drains (TE3).

QTE3: Quel type de kit d'entretien vous semble approprié pour que vous engagiez personnellement dans l'entretien de vos drains ?

Pour répondre à cette question, 3 kits d'entretien ont été évalués par les agriculteurs. Les kits étaient constitués de :

- Kit 1 : 2 dabas, 2 pelles et 2 pioches ;
- Kit 2 : kit 1 et 1 charrette ;
- Kit 3 : kit 1, faucheuse électrique à batterie rechargeable, 2 batteries 100AH et 2 plaques solaires 100Wc

La comparaison de ces 3 kits a été faite par les tests non-paramétriques car les conditions d'application d'ANOVA n'étaient pas réunies. Les kits 2 et 3 ont été analysés par le test de Mann-Whitney, tandis que le kit 1 a été analysé par le test des signes car sa variance est différente aux variances des autres kits (annexe 14.8).

Tableau 28: Le test de Mann-Whitney pour le Kit 2 et le Kit 3, QTE 3

	N	Median
Kit 2	48	16.000
Kit 3	46	20.000
Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0.0087		
The test is significant at 0.0054 (adjusted for ties)		

η représente la médiane

Le kit 3 est plus encourageant à entretenir les drains que le kit 2 ($p < 5\%$. Le p-value considéré est celui qui est ajusté aux valeurs égales (Rumsey 2009)).

Tableau 29: Test des signes pour le Kit 1, QTE 3

Test des signes pour la médiane = 16.00 versus $\neq$ 16.00					
	N	Below	Equal	Above	P
Kit 1	48	45	3	0	0.0000
					Median
					8.500

La médiane du kit 1 est significativement différente à 16 ($p : 0\%$), par conséquent inférieure à la médiane du kit 2.

A base de ces résultats, il ressort que le kit 3 est le plus encourageant à l'entretien des drains, ensuite vient le kit 2 que les paysans jugent aussi encourageant surtout à cause de la charrette. Par contre, le kit 1 est très démotivant à entretenir les drains.

Les matériels facilitent le travail et permettent de s'engager dans l'entretien des drains. Selon les agriculteurs, le kit 3 est commode à cause de la machine électrique qui facilite le travail (i.e. moins fatigant). Cependant, ils soulignent que le kit 3 est difficile à entretenir en cas de panne et en plus ils ne sont pas habitués aux machines électriques. D'où l'importance du kit 2, non seulement à cause de son entretien facile, mais en plus parce qu'il peut leur permettre de réaliser d'autres travaux avec la charrette. Quant au kit 1, ils le jugent très archaïque et très fatigant. En

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

plus, la plupart des paysans possèdent déjà les matériels proposés dans le kit 1, mais ça ne leur permet pas de nettoyer les drains, car ces derniers sont de grandes dimensions et nécessitent de bonnes machines.

Dans la partie ouverte du questionnaire 'autres', les paysans ont cités quelques matériels pouvant les aider à nettoyer les drains. Il s'agit entre autre : le râteau, la faucille, la machette et le grand daba.

4.2.4. La frustration liée à l'insuffisance de l'eau pour l'irrigation est un frein à l'entretien des drains (TE4)

QTE 4: Pensez-vous que le fait que vous ne receviez pas l'eau au bon moment et en quantité suffisante vous décourage à l'entretien des drains ?

Deux réponses anticipées, à savoir 'le tour d'eau respecté' et 'la quantité d'eau suffisante', ont été évaluées pour répondre à cette question. Le test de Mann-Whitney a été utilisé pour comparer les deux facteurs. Cependant, lors de l'analyse des données, l'hypothèse de stratification a été vérifiée (i.e. avis différents selon le statut des paysans). Les résultats de chaque strate seront présentés.

❖ Strate des PO

Tableau 30: Le test de Mann-Whitney pour QTE 4 PO

	N	Median
Tour d'eau respecté	32	18.000
Quantité d'eau suffisante	32	20.000
Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0.0004		
The test is significant at 0.0001 (adjusted for ties)		

η représente la médiane

Les médianes de ces deux réponses anticipée sont significativement différentes ($p < 5\%$).

❖ Strate des PR

Tableau 31: Le test de Mann-Whitney pour QTE 4 PR

	N	Median
Tour d'eau respecté	16	18.000
Quantité d'eau suffisante	16	20.000
Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0.2278		
The test is significant at 0.2024 (adjusted for ties)		

η représente la médiane

Les médianes de ces deux réponses anticipées ne sont pas significativement différentes ($p > 5\%$). Mais il faut garder en esprit, que le test peut ne pas relever la différence entre les médianes car la taille de l'échantillon est faible (Rumsey 2009).

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Les résultats diffèrent selon les strates. Pour la strate des paysans ordinaires, la quantité d'eau insuffisante est plus démotivant à l'entretien des drains que le tour d'eau non respecté. Par contre, dans la strate des paysans responsables, le tour d'eau non respecté et la quantité d'eau insuffisante sont tous décourageant au même degré à l'entretien des drains. En effet, les paysans responsables interviennent à tout moment lorsqu'il y'a un conflit lié au non-respect du tour d'eau, ce qui fait qu'ils se sentent beaucoup plus concernés par le respect du tour d'eau.

L'insuffisance d'eau est une source de frustration évidente chez les agriculteurs. Selon certains paysans, le tour d'eau doit être respecté pour que la quantité d'eau soit suffisante, par contre d'autres soulignent que l'insuffisance d'eau entraîne le non-respect du tour d'eau, créant ainsi la frustration et les conflits entre paysans. Cette frustration est à la base des mauvaises pratiques telles que les barrages en sacs érigés dans les drains et les canaux d'irrigation, mais aussi les puits creusés dans les parcelles ainsi que dans les drains. Une étude similaire menée par Vandersypen et al. (2006) à l'Office du Niger, a permis de constater que les stratégies individualistes dominant, produisant des problèmes concernant la distribution de l'eau et l'entretien des drains. Ces mêmes auteurs ajoutent que l'inefficacité de pression sociale et l'adoption incomplète d'une mentalité de responsabilité collective sont des obstacles à une organisation solide de la gestion de l'eau.

En effet, les barrages permettent aux paysans d'irriguer leurs parcelles lorsqu'il y a manque d'eau ou bien lorsque le tour d'eau est boycotté par certains. Les puits servent principalement à irriguer les cultures en contre saison. Pour mieux cerner le problème de puits, il a été procédé à leur comptage. En moyenne le secteur 1 contient 62 puits / 618ha, et le secteur 2 contient 192 puits / 729ha. Ces chiffres montrent la gravité du problème de manque d'eau.

L'insuffisance d'eau est liée aussi en partie à la grande perméabilité du sol dans certains endroits du périmètre. Par ailleurs, certains trouvent ça comme une raison de plus pour ne pas entretenir les drains, car selon eux, un drain bien entretenu contribuera à vider rapidement l'eau de la parcelle, surtout lorsque le sol de cette dernière est très perméable. Les mesures d'infiltration ont été menées pour bien cerner le lien entre la perméabilité du sol et le non entretien des drains. Les résultats de ces mesures sont présentés un peu plus loin dans ce mémoire.

Comme l'explique certains paysans, 'A quoi sert-il de s'occuper des drains si on n'arrive pas à irriguer nos parcelles ?', montre que le problème lié à l'insuffisance de l'eau est un frein à

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

l'entretien des drains. Les agents de l'OPIB ajoutent qu'il est difficile d'exiger de la part des paysans un entretien des drains s'il n'y a pas l'eau en quantité pour irriguer leurs parcelles.

4.2.5. Une petite taille d'exploitation agricole n'incite pas à l'entretien des drains (TE5)

QTE5: Quelle taille d'exploitation à vous attribuer serait la plus motivante pour l'entretien de vos drains ?

5 tailles d'exploitation ont été évaluées par les paysans pour cerner si ce facteur peut inciter les paysans à entretenir les drains. Ces tailles sont entre autre 0.25ha, 0.50ha, 1ha, 2ha et 3ha. Les conditions d'application d'ANOVA sont réunies seulement pour 0.50ha, 1ha, 2ha et 3ha (annexe 14.10). 0.25ha ne peut pas être comparée avec les autres tailles d'exploitations par le test d'ANOVA, car sa variance est différente des autres variances. Elle a été analysée à part, par le test des signes.

Tableau 32: One-way ANOVA pour QTE 5: 0.50ha, 1ha, 2ha et 3ha

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	3037	1012.43	32.58	0.000
Error	188	5842	31.08		
Total	191	8880			

Les moyennes des scores de ces quatre tailles d'exploitation sont significativement différentes ($p < 5\%$).

Tableau 33: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 5

Facteur	N	Moyenne	Groupement ^(a)
3.0 ha	48	15.98	A
2.0 ha	48	15.208	A
1.0 ha	48	11.750	B
0.50 ha	48	5.896	C

^(a)Les moyennes qui ne partagent par une même lettre sont significativement différentes
3ha et 2ha motivent à l'entretien des drains. 0.50ha n'incite pas à nettoyer les drains.

Tableau 34: Test des signes pour 0.25ha, QTE 5

Test des signes pour la médiane = 4.000 versus < 4.000					
	N	Below	Equal	Above	P
0.25 ha	48	44	0	4	0.0000
					Median
					1.000

La médiane de 0.25ha est inférieure à la médiane de 0.50ha ($p = 0\%$). Comme 0.50ha, 0.25ha n'incite pas à entretenir les drains.

La taille d'exploitation a un pouvoir incitatif à l'entretien des drains. En effet, la taille d'exploitation a été attribuée en fonction de l'importance de chaque famille. En moyenne, elle est de 0.63 ± 0.025 ha et 75% des paysans des secteurs 1 et 2 ont une taille d'exploitation inférieure à 0.72ha (Figure 20). Cependant, le périmètre Baguinéda n'est plus extensible, alors que le nombre des membres des familles ne fait qu'accroître. La taille moyenne par famille

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

tourne autour de 18 personnes. Beaucoup des paysans jugent que leur taille d'exploitation actuelle ne leur permet pas de subvenir aux besoins en nourriture de leur famille, d'où le choix d'une grande taille d'exploitation agricole afin de s'engager dans l'entretien des drains. De plus, ils ajoutent qu'une grande taille d'exploitation peut leur permettre de diversifier les cultures et d'accroître la production, ce qui est en accord avec les résultats de Coulibaly et ali. (2006) à l'office du Niger, montrant qu'une grande exploitation agricole offre une possibilité de diversification des cultures.

Vu la convergence des avis sur les grandes tailles d'exploitations comme encourageantes à l'entretien des drains, et vu la taille moyenne actuelle à Baguinéda amont (0.63ha), nous pensons que le facteur 'taille d'exploitation' a un pouvoir incitatif à l'entretien des drains. Ce qui sous-entend que plusieurs néglige l'entretien des drains car leurs tailles d'exploitations ne les encouragent pas à le faire.

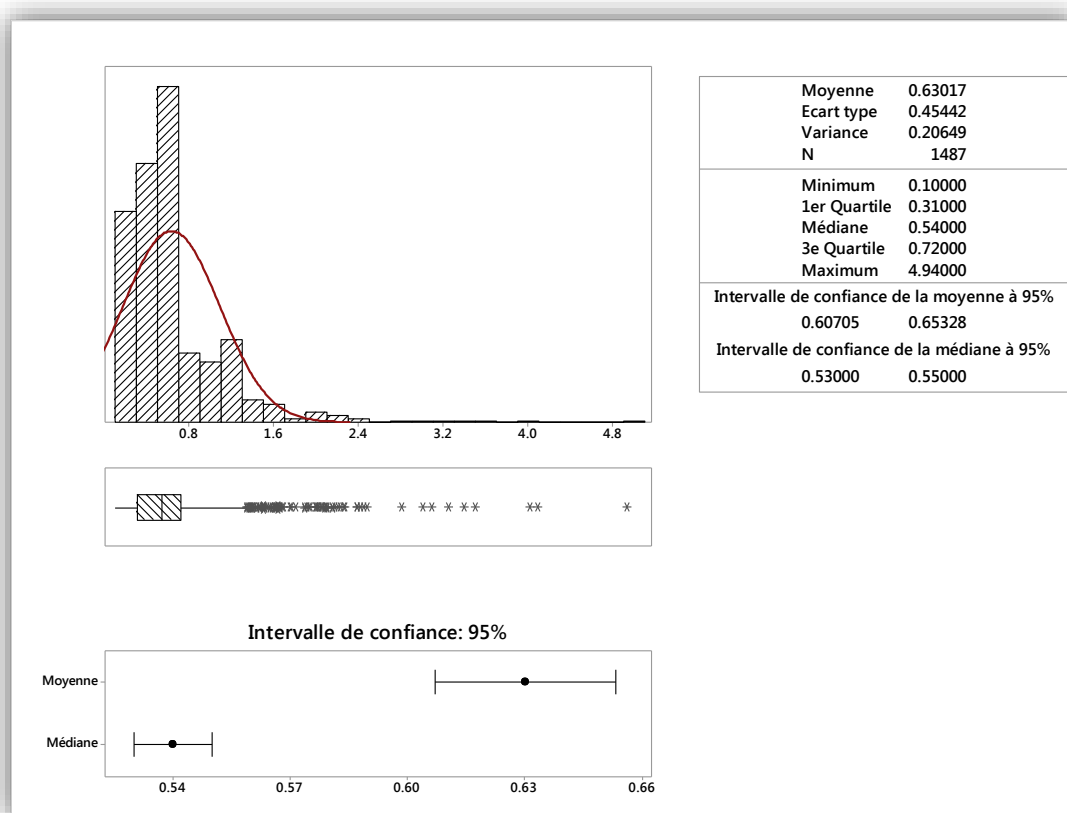


Figure 20: Distribution de la taille parcellaire à Baguinéda Amont

Cette figure montre que 75% des paysans dans les secteurs 1 et 2 (Baguinéda Amont), ont une taille d'exploitation inférieure à 0.72ha, qui n'est pas encourageante à entretenir les drains selon eux.

Source des données : OPIB

4.2.6. Impact de la toxicité ferreuse sur les rendements (TE6)

QTE6 : Pensez-vous que le problème de fer contribue à la réduction de votre rendement ?

Le but de cette question était de savoir s'il y a existence, ou s'il y a eu existence de la toxicité ferreuse dans le périmètre de Baguinéda et comment cela a affecté le rendement. Les paysans répondaient oui ou non à cette question selon qu'ils ont détecté ou pas les symptômes de la toxicité ferreuse dans leurs parcelles. Ces symptômes se caractérisent par le jaunissement des feuilles du riz et l'eau qui devient rouge. ils peuvent apparaître à différentes stades de la croissance du riz (Audebert 2006b).

Lors des interviews, 33.3% des paysans enquêtés ont signalé avoir remarqué les symptômes de la toxicité ferreuse dans leurs parcelles et pour certains, cela avait affecté leur rendement. En considérant une superficie moyenne de 0.63ha par parcelle, la superficie totale qui a été affecté par la toxicité ferreuse tourne au tour de 388 ha. Selon les estimations des personnes ayant remarqué ces symptômes, la réduction moyenne du rendement du riz est estimée à $40.56 \pm 6\%$. Ce résultat avoisine les résultats de Audebert (2006a) sur deux sites en côte d'ivoire, où la toxicité ferreuse a entraîné une baisse de 43% du rendement potentiel (rendement sous bon niveau d'intrants). Cependant, certains paysans ont remarqué les symptômes sans toutefois que cela n'impacte leur rendement, néanmoins, ça retarde la croissance du riz (Audebert 2006a). Les symptômes de la toxicité ferreuse sont perçues dans les endroits avec une faible perméabilité du sol, caractérisés presque par un engorgement permanent du sol.

Selon les paysans, l'apparition de ce problème est due à un mauvais drainage, qui peut être causé par le mauvais état des drains entraînant l'engorgement du sol, ce que confirme Keïta (2015b) et Audebert (2006b). En effet, selon ces auteurs, les conditions réductrices que l'on rencontre couramment dans les sols engorgés de bas-fond sont précurseurs de la toxicité ferreuse par la solubilisation dans la solution du sol de la quasi-totalité du fer sous forme ferreux (Fe^{2+}).



Figure 21: De gauche à droite : Précipitation du fer oxydé (Fe^{3+}) sur la surface du sol et la couleur rouge de l'eau montrant la présence du Fe^{3+} dans cette parcelle

La présence du fer Fe^{3+} dans l'eau n'est pas dangereuse pour le riz. Cependant, lorsqu'il reste longtemps dans les conditions anaérobiques, dû à l'engorgement du sol, il est réduit en fer Fe^{2+} qui est soluble et absorbable par les racines de la plante et pouvant ainsi réduire le rendement du riz.

4.2.7. Problèmes rencontrés et solutions aux problèmes d'entretien des drains (TE7)

❖ QTE7.1: Parmi les problèmes ci-dessous, lesquels vous démotivent pour l'entretien des drains ?

3 problèmes à savoir : le manque de mains d'œuvres, le manque d'équipements et le manque de coordination avec les voisins ; ont été évalués afin de cerner les problèmes qui empêchent les paysans à s'engager dans l'entretien des drains. Les conditions d'application d'ANOVA sont remplies par ces 3 facteurs, permettant ainsi de les comparer par ce test (annexe 14.12).

Tableau 35: One-way ANOVA pour QTE 7.1

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	3465	1732.53	44.95	0.000
Error	141	5435	38.55		
Total	143	8900			

Les moyennes des scores attribuées aux 3 facteurs sont significativement différentes ($p < 5\%$).

Tableau 36: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 7.1

Facteur	N	Moyenne	Groupement ^(a)
Manque de coordination	48	16.229	A
Manque d'équipements	48	14.813	A
Manque de mains d'œuvres	48	5.188	B

^(a)Les moyennes qui ne partagent par une même lettre sont significativement différentes

Le manque de coordination avec les voisins et le manque d'équipements sont les problèmes les plus démotivant à l'entretien des drains à Baguinéda. Par contre le manque de mains d'œuvres n'est pas décourageant à l'entretien des drains, avec un score faible de 5.18/20.

Le manque de coordination avec les voisins est un blocage au travail d'entretien, car le drain est un ouvrage collectif, et son entretien doit être collectif. Selon Barbier et al. (2011), le

manque d'expérience des irrigants en matière d'organisation des groupements d'irrigation, de distribution de l'eau et d'entretien des infrastructures, tel que les infrastructures de drainage, reste un frein puissant. Vandersypen et al. (2006) ajoutent que, l'absence d'une bonne coordination sur la partie tertiaire du réseau aboutit à une négligence de l'entretien. En effet, certains paysans utilisent les drains à des fins privés en érigeant des barrages et en creusant les puits dans les drains. Le fait que chacun peut faire ce qu'il veut dans le drain, alors que ce dernier n'est pas un ouvrage personnel, rend difficile, voire même impossible, l'organisation pour le nettoyage collectif. Dans l'étude sur la durabilité de l'organisation des agriculteurs à l'ON, 20% des agriculteurs interviewés par Vandersypen et al. (2006), ont signalé avoir eu des problèmes à cause des comportements de leurs voisins, entraînant une mauvaise organisation.

Les paysans ajoutent au manque de coordination, le manque d'équipements adéquats comme problème démotivant à l'entretien des drains. Ils estiment que les drains tertiaires sont de grande taille, et qu'il faudrait des bons équipements pour s'engager dans leur nettoyage. Ceci confirme les arguments avancés au QTE3 (Matériel d'entretien). Par contre, le manque de mains d'œuvres n'est pas un frein à l'entretien des drains, car selon eux, tout agriculteur en bonne santé, a toujours la capacité de travailler.

Parmi d'autres problèmes signalés par les paysans, nous pouvons citer le non entretien de la partie du réseau de drainage qui revient à l'OPIB et le manque de sensibilisation et de formation sur l'entretien des drains. Certains justifient leur manque d'engagement dans l'entretien de leur partie du réseau de drainage par le non entretien des drains secondaires qui doivent être entretenus par l'OPIB. Ce même constat a été fait à l'ON par Keita (2003) cité par Vandersypen et al. (2007), où plusieurs agriculteurs se plaignent que leurs problèmes de drainage sont dus au mauvais état des drains qui sont sous la responsabilité de l'ON. Dans une autre étude menée par Kouakou (2014) à l'ON, il est ressorti que les paysans refusent de faire l'entretien à leur niveau tant que l'ON n'entretient pas sa part du réseau. Bien que ce n'est pas une raison valable de la part des paysans, il faudrait bien que l'OPIB nettoie entièrement et régulièrement la partie du réseau de drainage qui est sous sa responsabilité, pour inciter les paysans à faire autant.

Lors des interviews des cadres de l'OPIB, il est ressorti que l'insuffisance du budget alloué à l'entretien des drains secondaires et le manque d'engagement au sein de l'OPIB constituent des freins à l'entretien des drains qui sont sous leur responsabilité

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

❖ QTE7.2: Parmi les solutions ci-dessous, lesquelles vous trouvez appropriées au problème de l'entretien des drains ?

5 solutions, constituant les réponses anticipées pour cette QTE (Tableau 38), ont été évaluées par les paysans. Les conditions d'application d'ANOVA sont remplies par ces 5 facteurs, permettant ainsi de les comparer par ce test (annexe 9.12).

Tableau 37: One-way ANOVA pour QTE 7.2

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	5365	1341.34	58.02	0.000
Error	235	5433	23.12		
Total	239	10799			

Les moyennes des 5 réponses anticipées présentes une différence significative ($p < 5\%$).

Tableau 38: Information groupée utilisant le test de Tukey à 95% d'intervalle de confiance, QTE 7.2

Facteur	N	Moyenne	Groupement ^(a)
Nécessite de formation	48	17.563	A
Appui à l'organisation	48	16.292	A B
Petit équipement	48	14.479	B
Travail en commun	48	14.083	B
Contrat de maintenance	48	4.208	C

^(a)Les moyennes qui ne partagent par une même lettre sont significativement différentes

La nécessité de la formation à l'entretien et l'appui à l'organisation de l'entretien des drains sont les meilleures solutions aux problèmes de l'entretien des drains selon les paysans. Ensuite viennent les petits équipements et le travail en commun. Par contre, le contrat de maintenance, avec un score moyen de 4.21/20, n'est pas une solution appropriée aux problèmes d'entretien.

La formation est capitale, car elle permettra aux agriculteurs de comprendre le bien-fondé de l'entretien de drains et de bien faire le travail. Si les paysans doivent travailler ensemble, il faudra bien les appuyer de façon organisationnelle. En effet, le manque de coordination avec les voisins a été déclaré comme étant le problème le plus critique, empêchant les paysans à s'engager dans l'entretien des drains, ce qui est le cas aussi à l'Office du Niger (Vandersypen et al. 2006). Par conséquent, bien que le travail en commun soit une bonne solution, il n'est possible que par un appui organisationnel externe. Ainsi, s'ils sont bien formés sur la question, et se sentent appuyés pour pouvoir travailler en commun, les équipements leur faciliteront le travail. De façon tranchée, le recours à un contrat de maintenance est considéré par les paysans comme une mauvaise solution, car les contractuels ne sont qu'intéressés par l'argent et non la qualité de travail. Par conséquent, non seulement il faut les payer, mais être là aussi pour les surveiller, ce qui leur semble inadmissible.

4.2.8. Thème de formation (TE8)

QTE8 : Quel thème de formation vous semble utile pour vous aider efficacement à entretenir les drains ?

Pour appuyer la réponse anticipée sur la nécessité de la formation à l'entretien des drains dans la question précédente, deux thèmes de formation à savoir la formation sur les petits équipements d'entretien et la formation sur l'organisation de l'entretien des drains, ont été proposés aux paysans. Leur comparaison a été faite par le test de Mann-Whitney.

Tableau 39: Le test de Mann-Whitney pour QTE 8

	N	Median
Formation sur les petits équipements	48	16.000
Formation sur l'organisation	48	20.000
Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0.0000		
The test is significant at 0.0000 (adjusted for ties)		

η représente la médiane

Les médianes de ces deux thèmes de formation sont significativement différentes ($p < 5\%$).

Bien que les deux thèmes de formation soient importants, il ressort que la formation sur l'organisation de l'entretien est celle qui peut mieux aider les paysans à s'engager dans l'entretien des drains. Ils justifient cela par le fait que la formation sur l'organisation peut les aider, non seulement à bien faire le travail d'entretien, mais aussi à comprendre l'importance de l'entretien des drains. Par ailleurs, ils estiment qu'ils savent manipuler la plupart des matériels intervenant dans l'entretien des drains, par contre, ils ne savent pas comment agencer les tâches pour que l'entretien soit bien fait.

4.2.9. Analyse transversale des thèmes d'enquêtes

La culture du riz, préférée par les paysans, n'incite pas à l'entretien des drains. En comparant les résultats du QTE 1.1 et du QTE 1.2, il ressort que le riz, la culture la plus encourageante à l'entretien des drains selon les paysans, n'a pas forcément besoin d'un bon drainage pour bien grandir, car elle n'est pas sensible à l'engorgement du sol. En revanche, le chou qui n'encourage pas à entretenir les drains selon leurs explications, est sensible à l'engorgement du sol ; nécessitant ainsi que les drains soient entretenus pour faciliter le drainage. Ceci prouve que les paysans font une culture en fonction du profit qu'ils en tirent (i.e. la consommation et la vente) et non selon son besoin de drainage. Ainsi pour inciter les paysans à nettoyer les drains, il sera mieux de promouvoir les cultures maraichères.

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Les principaux obstacles à l'entretien des drains à Baguinéda sont i) le manque de coordination entre les voisins, ii) la frustration liée à l'insuffisance de l'eau pour l'irrigation et iii) le manque d'équipements adéquats. En effet, le problème de gestion de l'eau, qui amène les paysans à développer les pratiques qui vont à l'encontre de l'entretien des drains, est généralement causé par une mauvaise organisation (Vandersypen et al. 2006). Bien que les paysans fournissent l'effort pour mieux respecter le tour d'eau afin d'éviter les conflits, ceci ne semble pas être le cas pour ce qui est de l'entretien de réseau de drainage. Le fait que chacun peut faire ce qu'il veut dans le drain sans demander l'accord des autres (i.e. ériger les barrages, creuser les puits) rend difficile l'organisation et le travail en commun pour l'entretien. Ainsi, un appui à l'organisation des drains est d'une importance capital. Cet appui doit être couplé à une formation dans la mesure du possible. Le fait que plusieurs paysans pensent aux drains lorsqu'il y a un problème majeur, comme l'inondation des parcelles, montre la nécessité d'être conscientisé sur la nécessité d'entretenir les drains, ce qu'affirment Mr. Isiaka Coulibaly (chef de la section formation) et Mr. Souleymane Kone (chef secteur 3), agents de l'OPIB. C'est lorsque les paysans arrivent à mieux s'organiser et travailler en commun que les matériels adéquats peuvent les aider à entretenir efficacement les drains.

L'objectif premier de chaque agriculteur est d'obtenir un bon rendement, et il fera tout ce qui est à son possible pour atteindre cet objectif. En effet, les infrastructures de drainage ont pour handicap majeur de ne pas directement impacter les revenus de façon facilement quantifiables, sauf en cas d'évènements intenses lorsque la fonction principale de faciliter l'écoulement de l'eau vers l'aval n'est pas remplie. Bien qu'une bonne performance de la production puisse inciter à l'entretien des drains, il faudra, à travers une formation, amener les paysans à comprendre l'impact du mauvais état des drains sur leur rendement. C'est ainsi que, dans le but de toujours optimiser leur rendement, les paysans pourront se pencher aussi sur l'entretien des drains comme ils le font pour les autres travaux dans leurs parcelles.

4.3. Détermination de la perméabilité dans le bas-fond rizicole de Baguinéda

Les analyses statistiques ont suivi la collecte des données d'infiltration afin de tirer des conclusions valides sur la perméabilité du sol dans le périmètre. Les analyses statistiques commencent d'abord par chercher le meilleur modèle de régression, avec des paramètres physiques ayant un sens physique réel (A. Keita et al. 2014). Le choix s'est fait entre deux modèles de régression non-linéaire à savoir : l'équation quadratique et le l'équation exponentielle (exponential one-phase decay).

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

$$I_t = B_0 + B_1 t + B_2 t^2 \quad (\text{Équation quadratique})$$

$$I_t = (Y_0 - \text{Plateau}) \exp(-Kt) + \text{Plateau} \quad (\text{Équation exponentielle})$$

Avec : B_0 (mm/h), B_1 (mm/h²), B_2 (mm/h³) coefficients de l'équation quadratique ; t (h) est le temps, I_t (mm/h) est l'infiltration à l'instant t ; Y_0 (mm/h), Plateau (mm/h) et K (h⁻¹) sont les coefficients de l'équation exponentielle.

Contrairement au modèle quadratique (A. Keita et al. 2014), les coefficients du modèle exponentiel ont des sens physiques réels. Tout au plus, la fonction quadratique admet un extremum correspondant au point où la première dérivée est nulle. Il n'y a pas de limite à cette fonction lorsque le temps tend vers l'infini, et au temps zéro nous avons la valeur B_0 qui n'a aucun sens physique. Par contre, tous les paramètres du modèle exponentiel ont un sens dans l'écoulement de l'eau dans le sol, ce qui a conduit à son choix dans cette étude. Au début des mesures, $t=0$, l'infiltration correspond à sa plus grande valeur qui est Y_0 . Sa valeur diminue progressivement pour atteindre le Plateau lorsque le temps t tend vers l'infini. Par définition, le plateau est une zone où une fonction mathématique est stationnaire, ni croissante, ni décroissante. Il correspond à la partie basse de la courbe d'infiltration. Dans l'équation exponentielle, il représente la perméabilité du sol, qui est la valeur recherchée par cette campagne des mesures.

Le modèle exponentiel a donné des bons résultats. Les coefficients de corrélation (R^2) sont supérieurs à 80% (sauf le point P1_PO2). Mais il faut noter que le coefficient de corrélation ne suffit pas pour s'assurer de la convenance du modèle (Boslaugh et Watters 2008 cités par Keita 2015b). La normalité de résidus doit aussi être testée (Rumsey 2009). C'est dans ce but que le test de normalité des résidus de Shapiro-Wilk a été mené, et ses résultats ont été appréciés par les niveaux de signification (p-value). A part les points P1_PO2, P2_PO2 et P2_PO26, les p-value des autres points sont supérieurs à $\alpha = 0.05$, permettant de conclure la normalité des résidus. Les paramètres de la régression non linéaire des données de perméabilité du sol à l'intervalle de confiance de 95% et les courbes d'infiltration sont présentés en annexe 15 et 16.

Statistiques descriptives: Infiltration Baguinéda Amont

Variable	Moyenne	Ecart-type	Variance	Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
Infiltration_BAmont	1.847±0.84	2.032	4.129	0.199	0.511	1.000	2.160	9.145

Figure 22: Statistiques descriptives de la perméabilité du sol à Baguinéda Amont

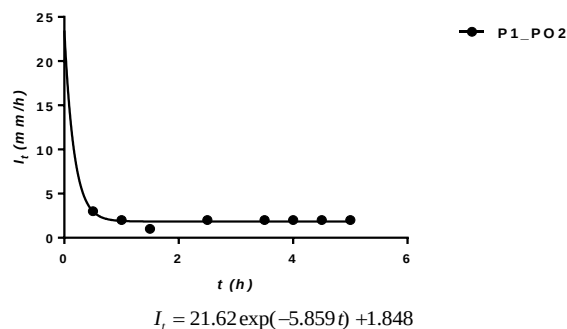


Figure 23: Exemple de courbe d'infiltration, point P1_PO2

La perméabilité du sol à ce point correspond à la partie basse de la courbe d'infiltration.

La perméabilité moyenne dans la zone amont de Baguinéda est de 1.85 ± 0.84 mm/h à 95% d'intervalle de confiance (figure 22). Sa valeur maximale, observée dans le secteur 1 (CSK16 et CSK17), est de 9.145 mm/h. Cette zone correspond à la partie la plus perméable du périmètre qui constitue les terres aptes au maïs et non à la riziculture. Le constat fait sur le terrain est que certains exploitants ayant des parcelles dans cette zone pratiquent la riziculture et non la culture du maïs.

Les résultats montrent une augmentation de la perméabilité de l'amont vers l'aval des secteurs 1 et 2 (annexe 17). En effet, excepté les zones du CSK16 et CSK17 qui présentent une perméabilité particulière du périmètre (9.145 mm/h), en moyenne la perméabilité est de 0.84 ± 0.51 mm/h au secteur 1 et de 1.8 ± 0.7 mm/h au secteur 2. Nos résultats sont en accord avec les résultats de l'étude menée par Keita et al. (2014), montrant que la perméabilité du sol augmente de l'amont vers l'aval dans un bas-fond rizicole.

La perméabilité est un paramètre clé dans la gestion de l'eau dans un périmètre rizicole. Elle détermine la quantité d'eau nécessaire à mobiliser en fonction du tour d'eau choisi. La plupart du temps, lors du dimensionnement des périmètres rizicoles, la valeur de la perméabilité considérée est de l'ordre de quelques millimètres par jour, 1 à 3 mm/j pour le périmètre irrigué de Baguinéda. Cependant, les résultats de cette étude montrent une valeur de perméabilité très différente de la valeur utilisée lors du dimensionnement du périmètre. Elle est de 1.85 ± 0.84 mm/h en moyenne, ce qui revient à 44.33 ± 20.13 mm/jour.

Le riz est une culture très consommatrice de l'eau (Barbier et al. 2011). Pour une meilleure croissance, à une certaine période de son développement, l'eau doit être maintenue dans la parcelle, ce qui s'avère être impossible à cause de la perméabilité élevée dans certaines parties du périmètre. Ainsi, pour faire face à ce problème, les paysans érigent les barrages dans les

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

drains pour réduire les pertes par percolation. En plus, les paysans estiment qu'un drain bien entretenu vide rapidement l'eau de la parcelle lorsque le sol de cette dernière est très perméable, d'où le refus de son entretien. Ceci qui permet de confirmer que le non entretien des drains est en partie lié à la perméabilité du sol.

Les barrages dans les drains entraînent des inondations suite à des événements pluvieux et des stagnations des eaux sales, attirant ainsi les insectes nuisibles aux cultures. En cas de fortes pluies, les parcelles inondées pendant plusieurs jours peuvent perdre complètement leur production. De plus, ils favorisent les dépôts, ce qui entraîne le remplissage des drains et diminue la capacité de drainage de ces derniers. Certains paysans érigent des barrages sans l'accord des autres, créant ainsi des conflits lorsque le drainage dévient impossible en cas de besoin.

Pour réduire la perméabilité du sol, les solutions suivantes peuvent être envisagées :

- Amender le sol avec de l'argile,
- Répandre le fumier organique,
- Amendement calcaire.

5. Conclusion

L'objectif de cette étude était d'étudier la perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs. Les enquêtes de terrain ont permis de faire remonter les opinions des paysans sur la question de l'entretien du réseau de drainage. Le WASO, outil de calcul et d'enquête, a été utilisé pour recueillir et quantifier les opinions des agriculteurs. Les mesures des drains ont permis d'apprécier la performance actuelle du réseau de drainage dans le périmètre de Baguinéda et les mesures d'infiltration par le double anneau de Müntz ont permis de bien cerner l'impact de la perméabilité du sol sur l'entretien du réseau de drainage.

Les résultats d'enquêtes ont permis de constater que plusieurs facteurs influent sur le comportement de l'agriculteur vis-à-vis de l'entretien du réseau de drainage. Les principaux obstacles à l'entretien des drains à Baguinéda sont i) le manque de coordination entre les voisins, ii) la frustration liée à l'insuffisance de l'eau pour l'irrigation, ce qui induit les barrages dans les drains et les puits (62 puits/618ha au secteur 1 et 192 puits/729ha au secteur 2) et iii) le manque d'équipements adéquats. Il est ressorti que la culture du riz, préférée par les paysans, n'incite pas à l'entretien des drains. Par ailleurs, les résultats ont montré qu'une petite taille d'exploitation, 0.63 ± 0.025 ha en moyenne, dé motive à entretenir les drains, et qu'une bonne performance de production peut inciter à entretenir les drains, à condition que les paysans comprennent l'impact du mauvais état des drains sur leur rendement. 33.3% des paysans enquêtés, ont signalé avoir remarqué les symptômes de la toxicité ferreuse, conséquence d'un mauvais drainage, dans leurs parcelles, ce qui a entraîné une réduction moyenne du rendement du riz de $40.56 \pm 6\%$.

Les agriculteurs ont souligné que la formation, l'appui organisationnel à l'entretien du réseau de drainage afin de faciliter le travail en commun et les bons équipements sont les meilleures solutions aux problèmes d'entretien des drains. Les équipements d'entretien facilitent le travail et motivent les paysans à l'entretien des drains. De façon tranchée, le recours à un contrat de maintenance est considéré par les paysans comme une mauvaise solution aux problèmes d'entretien des drains, car les contractuels ne sont qu'intéressés par l'argent et non la qualité de travail.

Les barrages érigés dans les drains et le non-respect du tour d'eau sont des conséquences directes de la perméabilité élevée du sol, qui est de 1.85 ± 0.84 mm/h sur notre site d'étude. En plus, dans les zones les plus perméables du périmètre, les paysans n'entretiennent pas les drains pour éviter que l'eau se vide rapidement de casiers rizicoles. Malgré que les drains aient des

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

sections capables d'évacuer une crue centennale, le mauvais état des drains est à la base des inondations observées dans certaines zones du périmètre. Ceci est dû principalement à la présence des barrages dans les drains qui freinent l'écoulement et le mauvais état des débouchés des drains.

La méthodologie utilisée lors de cette étude, en abordant les paysans avec le WASO, s'est avérée être efficace, car elle a permis de faire remonter et de quantifier les opinions des agriculteurs sur la question de l'entretien des réseaux de drainage.

6. Recommandations

De l'analyse de nos résultats, nous recommandons :

- à l'OPIB:
 - d'apporter un appui conseil et organisationnel des paysans,
 - d'organiser la formation des paysans sur l'entretien des drains,
 - de bien entretenir la partie du réseau de drainage qui est sous sa responsabilité, afin de servir d'exemple et d'inciter les paysans à faire autant,
 - de promouvoir les cultures maraichères pour inciter les paysans à entretenir les drains,
- aux GUE de veiller au respect du tour d'eau et à la fermeture des vannes en dehors des heures d'irrigation afin d'optimiser la gestion de l'eau,
- au CEE de redynamiser ses actions de sensibilisation à l'entretien des drains auprès des agriculteurs,
- aux paysans d'approcher l'OPIB dans le but de monter un projet de recherche de financement pour :
 - acquérir les matériels d'entretien adéquats,
 - amender le sol afin de réduire l'infiltration du sol dans les parties du périmètre les plus perméables,
- à COSTEA de mener cette étude sur d'autres sites en utilisant le WASO, afin de mettre à profit cette expérience à l'échelle régionale.

7. Références bibliographiques

- Angulo-Jaramillo, Rafael, Vincenzo Bagarello, Massimo Iovino, and Laurent Lassabatere. 2016. "Infiltration Measurements for Soil Hydraulic Characterization."
- Ardilly, Pascal. 2006. *Les Techniques de Sondage*. Editions Technip.
- Audebert, A. 2006a. "Diagnostic Du Risque et Approches de Gestion de La Toxicité Ferreuse Dans Les Bas-Fonds Rizicoles." *Toxicité Ferreuse Dans Les Systèmes À Base Riz d'Afrique de L'ouest*, 6.
- . 2006b. "LA TOXICITÉ FERREUSE-LES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES ET LES SYMPTÔMES." *Toxicité Ferreuse Dans Les Systèmes À Base Riz d'Afrique de L'ouest*, 18.
- Barbier, Bruno, Hervé Ouedraogo, Youssouf Dembélé, Hamma Yacouba, Boubacar Barry, and Jean-Yves Jamin. 2011. "L'agriculture Irriguée Dans Le Sahel Ouest-Africain." *Cahiers Agricultures* 20 (1): 24–33.
- Blein, Roger, Bio Goura Soulé, B Faivre-Dupaigre, and Borgui Yérima. 2008. "Les Potentialités Agricoles de l'Afrique de l'Ouest." *CEDEAO, Farm*.
- Boivin, Pascal. 1990. "Caractérisation de L'infiltrabilité D'un Sol Par La Méthode Muntz: Variabilité de La Mesure." *Bulletin-Réseau Erosion*, no. 10: 14–24.
- Boivin, Pascal, and Jaoudat Touma. 1988. "Variabilité Spatiale de L'infiltrabilité D'un Sol Mesurée Par La Méthode Du Double Anneau." *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie* 24 (3): 227–34.
- Boslaugh, S, and P Watters. 2008. "Statistics in a Nutshell: A Desktop Quick Reference (In a Nutshell (O'Reilly))."
- Bouarfa, Sami. 1995. "Drainage En Périmètre Irrigué Prise En Compte de L'évaporation Dans La Modélisation Saturée Du Drainage."
- Cellule de planification et de statistique du secteur développement rural. 2014. "Rapport Bilan Prévisionnel, Campagne Agricole 2014/2015 - Ministère Du Développement Rural." MALI.
- Compaoré, M. L. 1998. "Cours de Drainage et D'assainissement Agricole, 2iE."
- Coulibaly, Yacouba M, Jean-François Bélières, and Yénizié Koné. 2006. "Les Exploitations Agricoles Familiales Du Périmètre Irrigué de l'Office Du Niger Au Mali: Évolutions et Perspectives." *Cahiers Agricultures* 15 (6): 562–69.
- Dalenius, T. 1985. "Elements of Survey Sampling, 3rd Edn, Sarec."
- Degoulet, A. 1984. "Etude des pluies journalières de fréquence rare au Mali, en Mauritanie et au Sénégal." *COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES (C.I.E.H)*.
- Dembélé, Abdoulaye. 2010. "Le Développement de L'irrigation Au Mali." *Irrigation in West Africa: Current Status and a View to the Future*, 199.

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

- Diouf, J. 2008. "Discours D'ouverture de La Conférence «L'eau Pour L'agriculture et L'énergie En Afrique: Les Défis Du Changement Climatique», Syrte (Libye), 15-17 Décembre 2008."
- Dupaigre, Benoît FAIVRE, Pierre Baris, and Laurent Liagre. 2006. "Etude Sur La Compétitivité Des Filières Agricoles Dans L'espace UEMOA." *IRAM. Ouagadougou, Union Economique et Monétaire Ouest-Africaine* 1.
- Dussaix, Anne-Marie. 2009. "La Qualité Dans Les Enquêtes." *Revue Modulad*, no. 39: 137–71.
- Freycon, Vincent, and Nicolas Fauvet. 1998. "Les GPS: De L'acquisition Des Relevés À Leur Intégration Dans Un SIG."
- Groupeement Africonsult. 2014. "Etudes D'avant-Projet Détaillé Du Relèvement Du Réseau Secondaire, de Station de Pompage D'appoint et de Station D'exhaure Du Périmètre Irrigué de Baguinéda." OFFICE DU PERIMETRE IRRIGUE DE BAGINEDA (OPIB).
- Groves, Robert M, Floyd J Fowler Jr, Mick P Couper, James M Lepkowski, Eleanor Singer, and Roger Tourangeau. 2009. *Survey Methodology*. Vol. 561. John Wiley & Sons.
- Hammani, Ali, Sami Bouarfa, Abdelhafid Debbarh, and Daniel Zimmer. 2002. "Conception Du Drainage Agricole Dans La Plaine Du Gharb (Maroc) Basée Sur La Modélisation Couplée Du Drainage Souterrain et Du Drainage de Surface." In , 10 – p. Cirad-IRD-Cemagref.
- Hollinger, Frank, and John M. Staatz. 2015. "Croissance Agricole En Afrique de l'Ouest: Facteurs Déterminants de Marché et de Politique." *FAO; AfDB; ECOWAS*, no. I4337: 427 p.
- Huppert, Walter, Mark Svendsen, and Douglas L Vermillion. 2003. "Maintenance in Irrigation: Multiple Actors, Multiple Contexts, Multiple Strategies." *Irrigation and Drainage Systems* 17 (1-2): 5–22.
- Kahlow, M Akram, M Iqbal, A Raoof, and M Hanif. 2002. "Impact of Waterlogging on Major Crop Yields: A Case Study in Southern Punjab." *Journal of Drainage Water Management* 5 (2): 1–7.
- Keita, A. 2008. "Improving Irrigated Crop Land Productivity in Baguineda, Mali Current Situation and Modernization Scenarios Analyses. MSc. Delft, The Netherlands: UNESCO-HE Institute for Water Education."
- . 2015a. "Assainissement Des Terres Agricoles V1.18, 2iE."
- . 2015b. "Subsurface Drainage of Valley Bottom Irrigated Rice Schemes in Tropical Savannah: Case Studies of Tiefora and Moussodougou in Burkina Faso."
- . 2016a. "Design and Analysis of Experiments and Surveys- V 1.4 – 2015. 2iE Courses for MSc and PhD. International Institute for Water and Environmental Engineering. Ouagadougou, Burkina Faso. 179 P."
- . 2016b. "Le Waso - fonder les maths à 3 ans pour 77 ans. Manuel d'utilisation. Ouagadougou, Burkina Faso. Sous presse. 32 pp."

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

- Keita, A. C. T. 2003. "Gestion Sociale de L'eau Au Niveau Tertiaire En Zone Office Du Niger: Cas Du Kala Inférieur. Mémoire de fin de Cycle, I.P.R., Katibougou, Mali."
- Keita, Amadou, Hamma Yacouba, Laszlo G Hayde, and Bart Schultz. 2014. "Comparative Non-Linear Regression-Case of Infiltration Rate Increase from Upstream in Valley." *International Agrophysics* 28 (3): 303–10.
- Kish, Leslie. 1965. "Survey Sampling."
- Konaté, Abdoul Karim. 2014. "Études Préparatoires À La Formulation Du Projet de Renforcement de La Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle Dans La Région de Koulikoro (PRESAN-KL)." Groupe de la Banque Africaine de Développement.
- Konukcu, F, JW Gowing, and DA Rose. 2006. "Dry Drainage: A Sustainable Solution to Waterlogging and Salinity Problems in Irrigation Areas?" *Agricultural Water Management* 83 (1): 1–12.
- Kouakou, Yves Vivien Roland Kouadio. 2014. "Impact des dynamiques foncières actuelles sur la gestion de l'eau à l'Office du Niger au Mali : cas de la zone de production de Niono, MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER D'INGENIERIE, 2iE."
- Lyberg, Lars. 2012. "La Qualité Des Enquêtes." *Techniques D'enquête* 38 (2): 115–42.
- Mathews, Paul G. 2005. *Design of Experiments with MINITAB*. ASQ Quality Press.
- Mermoud, A. 2007. "Assainissement Du Sol." *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*, 100.
- Montgomery, Douglas C. 2008. *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons.
- Namara, Regassa E, and Hilmy Sally. 2010. "Irrigation in West Africa: Current Status and a View to the Future."
- NIPPON, KOEI. 1989. "Projet Pour Le Développement Du Périmètre de Baguinéda – Phase I. Rapport D'achèvement Des Travaux."
- Ouattara, BS. 1992. "Contribution to the Study of Iron and Sulfate Reducing Bacteria in the Kou Valley Bottom Rice Field." *Celular Biology, Vol. PhD, Université de Provence Aix-Marseille I. AixMarseille* 120.
- PROMISAM, and USAID-Mali. 2008. "Plan de Sécurité Alimentaire Commune Rurale de Baguinéda-Camp."
- Roose, Eric, and B Smolikowski. 1997. "Comparaison de Trois Techniques de Mesure de L'infiltration Sur Fortes Pentcs: Monocylindre et 2 Simulateurs de Pluies. Application À Un Versant de La Vallée de Godim Au Cap Vert." *Bulletin Réseau Erosion (FRA)*, no. 17: 282–96.
- Rosegrant, Mark W, and Sarah A Cline. 2003. "Global Food Security: Challenges and Policies." *Science* 302 (5652): 1917–19.
- Rumsey, Deborah. 2009. *Statistics II for Dummies*. John Wiley & Sons.
- Saporta, Gilbert. 2006. *Probabilités, Analyse Des Données et Statistique*. Editions Technip.

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

- Schultz, Bart, and Daniele De Wrachien. 2002. "Irrigation and Drainage Systems Research and Development in the 21st Century." *Irrigation and Drainage* 51 (4): 311–27.
- SEE. 2014. "Projet D'intensification Du Périmètre Irrigué de Baguinéda- Etude D'actualisation, de Recalibrage, de Revêtement Des Canaux Primaires de Baguinéda et À La Remise En État Des Ouvrages Connexes." SOCIETE D'ENGINEERING ET D'ETUDES.
- Smedema, Lambert K, Safwat Abdel-Dayem, and Walter J Ochs. 2000. "Drainage and Agricultural Development." *Irrigation and Drainage Systems* 14 (3): 223–35.
- Smedema, Lambert K, and Walter J Ochs. 1998. "Needs and Prospects for Improved Drainage in Developing Countries." *Irrigation and Drainage Systems* 12 (4): 359–69.
- Sourisseau, Jean-Michel. 2000. *Les Stratégies de Diversification Des Revenus Sur Les Grands Aménagements Hydro-Agricoles Sahéliens: Les Cas de L'office Du Niger Au Mali et Du Delta Du Fleuve Sénégal*. ANRT, Université Pierre Mendès France (Grenoble II).
- Statistique Canada. 2003. "Méthodes et Pratiques D'enquêtes."
- Vandersypen, Klaartje, ACT Keita, B Coulibaly, Dirk Raes, and J-Y Jamin. 2007. "Drainage Problems in the Rice Schemes of the Office Du Niger (Mali) in Relation to Water Management." *Agricultural Water Management* 89 (1): 153–60.
- Vandersypen, Klaartje, ACT Keita, K Kaloga, Y Coulibaly, Dirk Raes, and J-Y Jamin. 2006. "Sustainability of Farmers' Organization of Water Management in the Office Du Niger Irrigation Scheme in Mali." *Irrigation and Drainage* 55 (1): 51–60.
- Vermandele, Catherine. 2016. "Méthodes de Sondage et D'enquêtes, Université Libre de Bruxelles."
- Wrachien, Daniele De, and Reinder Feddes. 2004. "Global Warming and Drainage Development: Perspective and Challenges." *Irrigation and Drainage* 53 (3): 215–24.
- Zougmore, Robert, Alain S Traoré, and Yamar Mbodj. 2015. "Overview of the Scientific, Political and Financial Landscape of Climate-Smart Agriculture in West Africa."

8. Annexes

Liste des annexes

A.	Annexe 1 : Secteurs et villages du périmètre irrigué de Baguinéda	III
B.	Annexe 2 : Les principaux projets qui ont été développés sur le périmètre de Baguinéda	III
C.	Annexe 3 : Bref historique de l'OPIB	IV
D.	Annexe 4 : Système hydraulique et distribution de l'eau dans le périmètre de Baguinéda	V
E.	Annexe 5 : Organigramme de l'OPIB	VIII
F.	Annexe 6 : Organisation paysanne à l'OPIB et rôles des différents acteurs intervenant dans l'entretien du réseau secondaire et tertiaire	IX
G.	Annexe 7 : Questionnaire testé à Tiéfara	X
H.	Annexe 8 : Questionnaire administré à Baguinéda	XIII
I.	Annexe 9 : Questionnaire administré aux cadres de l'OPIB	XIX
J.	Annexe 10 : La répartition de l'échantillon selon les villages	XXI
K.	Annexe 11 : Listes des paysans enquêtés	XXII
L.	Annexe 12 : Le test de la précision du GPS GARMIN Map 76CSx	XXV
M.	Annexe 13 : Les tests statistiques et leurs conditions d'utilisation	XXVI
N.	Annexe 14 : Graphes des résultats d'enquêtes	XXVIII
	Annexe 14.1. QTE 1.1 : Quel type de culture peut vous inciter à mieux entretenir les drains ?	XXVIII
	Annexe 14.2. QTE 1.2 : Pour quel type de culture l'engorgement ou l'inondation du sol vous pose un problème ?	XXVIII
	Annexe 14.3. QTE 2.1 : Quel rendement du riz serait encourageant pour le nettoyage des drains ?	XXIX
	Annexe 14.4. QTE 2.2 : Quel rendement du maïs serait encourageant pour le nettoyage des drains ?	XXX
	Annexe 14.5. QTE 2.3 : Quel rendement d'oignon serait encourageant pour le nettoyage des drains ?	XXXI
	Annexe 14.6. QTE 2.4 : Quel rendement de tomate serait encourageant pour le nettoyage des drains ?	XXXII
	Annexe 14.7. QTE 2.5 : Quel rendement de choux serait encourageant pour le nettoyage des drains ?	XXXII
	Annexe 14.8. QTE3: Quel type de kit d'entretien vous semble approprié pour que vous engagiez personnellement dans l'entretien de vos drains ?	XXXIII
	Annexe 14.9. QTE 4: Pensez-vous que le fait que vous ne receviez pas l'eau au bon moment et en quantité suffisante vous décourage à l'entretien des drains ?	XXXV

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Annexe 14.10. QTE5: Quelle taille d'exploitation à vous attribuer serait la plus motivante pour l'entretien de vos drains ?	XXXVI
Annexe 14.11. QTE7.1: Parmi les problèmes ci-dessous, lesquels vous démotivent pour l'entretien des drains ?	XXXVII
Annexe 14.12. QTE7.2: Parmi les solutions ci-dessous, lesquelles vous trouvez appropriées au problème de l'entretien des drains ?	XXXVIII
Annexe 14.13. QTE8 : Quel thème de formation vous semble utile pour vous aider efficacement à entretenir les drains ?	XXXIX
O. Annexe 15 : Paramètres de la régression non linéaire des données de perméabilité du sol à l'intervalle de confiance de 95%	XL
P. Annexe 16 : Courbes et équations d'infiltration du sol	XLI
Q. Annexe 17 : Variabilité spatiale de la perméabilité du sol à Baguinéda Amont	XLIV
R. Annexe 18 : Les profils en travers de tronçons mesurés de drains	XLIV

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

A. Annexe 1 : Secteurs et villages du périmètre irrigué de Baguinéda

Secteurs	Superficies brutes irrigables (ha)	Superficies nettes irrigables (ha)	Canaux secondaires	Villages
Secteur 1	617.6	555.84	Du CSK1 au CSK17	Dougourakoro, Kognini, Nimizatt, Kobalacoura et Kobalacoro
Secteur 2	729.4	656.46	Du CSB4 au CSB12	Baguinéda village, Baguinéda camp, Kognimba, Soundougouba II et Gnogna
Secteur 3	719.9	647.93	Du CSB13 au CSB18	Sébéla, Tiéman, Sadiouroubougou, Wérékéra, Kokoun et Massakoni
Secteur 4	1013.3	912	Du CSB19 au CSB25, du CSS1 au CSS4 et du CST1 au CST6	Farkan, Palasso, Mofa, Tanima et Sienkoro
Total	3080.2	2772.23		

Source : OPIB

Les canaux secondaires sont nommés de la manière suivante :

CSK : Canal Secondaire Kobala, **CSB** : Canal Secondaire Baguinéda, **CSS** : Canal Secondaire Sienkoro, **CST** : Canala Secondaire Tanima.

B. Annexe 2 : Les principaux projets qui ont été développés sur le périmètre de Baguinéda

Depuis 1987 jusqu'en 2016, dans le but d'améliorer la productivité agricole, le périmètre a connu plusieurs travaux de réhabilitation. Ces derniers ont été réalisés en cinq phases (Groupement Africonsult 2014) :

1. La première phase (1987-1989) a été entièrement financée par un Don du gouvernement japonais et a porté sur :
 - la réhabilitation du canal principal sur 7.9 km ;
 - l'aménagement d'une ferme de démonstration (86 ha) destinée à la formation pratique des paysans aux techniques nouvelles.
2. La deuxième phase (1989-1991), également financée par le gouvernement japonais, a porté sur :
 - la réhabilitation du canal primaire sur 28.1 km ;
 - la réhabilitation de 42 canaux secondaires ;
 - le bitumage de la route Kobala koro/Baguinéda-Camp.
3. La troisième phase (1994-1999), financée par le FAD et le gouvernement du Mali, a porté sur :
 - la réhabilitation du drainage ;
 - l'aménagement à la parcelle et du réseau tertiaire sur 2536 ha nets ;
 - la fourniture des équipements et matériels aux paysans et leur fourniture ;

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

- l'organisation des villages en structures coopératives.
- 4. La quatrième phase (2008-2010), financée par le FAD dans le cadre du projet d'intensification du périmètre de Baguinéda, a porté sur :
 - la réhabilitation des ouvrages de tête (barrage des aigrettes, ouvrages de prise du canal d'amenée) ;
 - le revêtement de quelques tronçons du canal principal (10 km environ) ;
 - la réalisation des tertiaires au niveau du secteur 4 (Tanima et Sienkoro) et d'autres travaux de désenclavement et diversification (périmètre maraicher, parcs de vaccination, etc.).
- 5. La cinquième phase (2016), financée par la BAD dans le cadre du Projet de Renforcement de la Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle dans la Région de Koulikoro (PRESAN-KL), a porté sur :
 - la réhabilitation du canal principal (revêtement du canal principal sur 8.7 km ; réhabilitation de l'ouvrage de Sotuba ; mise en état de deux pièges à jacinthe ; réhabilitation de 52 prises secondaires ; réhabilitation de la digue route adjacente au canal primaire sur 35 km ; planage de 100 ha de parcelle à problème.) ;
 - la réhabilitation des canaux secondaires (revêtement des canaux secondaires ; mise en état de 8 évacuateurs de crue des prises secondaires ; réhabilitations des pistes intérieures secondaires du périmètre sur 60 km ; réhabilitation de la digue de ceinture du périmètre sur 25 km).

C. Annexe 3 : Bref historique de l'OPIB

Le périmètre de Baguinéda est un périmètre irrigué de maîtrise totale, géré par l'Office du Périmètre Irrigué de Baguinéda (OPIB), qui est un Etablissement Public à caractère Administratif (EPA) créée par la loi N° 98-/AN-RM du 19 Janvier 1998. L'OPIB est la dernière phase d'une longue série de mutation institutionnelle dont les principales sont les suivantes :

- 1926 à 1930 : creusement du canal principal sur 44 km ;
- 1960 à 1963 : création de la ferme d'état de Baguinéda ;
- 1964 à 1969 : création de SOCOMA (société des conserves du Mali) ;
- 1969 à 1971 : création de la Société des Conserves Alimentaires du Mali (SOCAM) ;
- 1972 à 1978 : création de l'Opération Promotion des Cultures Maraîchères (OPCM) ;
- 1979 à 1988 : création de l'Opération de Développement Intégré de Baguinéda (ODIB) ;
- 1988 à 1998 : création du Projet de Réhabilitation du périmètre hydro agricole de Baguinéda (PRB)
- A partir de 1998 : création de l'Office du Périmètre Irrigué de Baguinéda (OPIB).

D. Annexe 4 : Système hydraulique et distribution de l'eau dans le périmètre de Baguinéda

➤ **Concession de Sotuba**

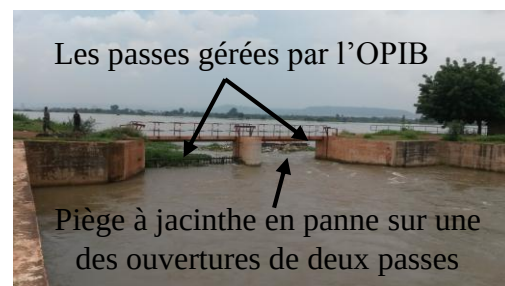
La concession de Sotuba, appartenant à la direction générale de l'Energie du Mali (EDM), comprend le barrage des aigrettes, les prises du chenal d'amené, le chenal d'amené, l'usine hydro-électrique et la prise de restitution de Baguinéda.

Le barrage des aigrettes comprend une partie fixe de 800 m de seuil maçonnée et une partie mobile comprenant cinq piles en maçonnerie et quatre passes équipées de vannes à commande manuelle. Il a pour but essentiel de dériver l'eau du fleuve Niger vers le chenal d'amené. Ses coordonnées GPS sont 7.9504497 Longitude Ouest et 12.6317792 Latitude Nord.



Barrage des aigrettes

Les prises du chenal d'amené sont constituées de dix passes dont huit anciennes, gérées par l'EDM, et deux nouvelles construites dans le cadre du projet d'intensification du périmètre de Baguinéda et gérées par l'OPIB. La largeur des passes est de 7.5 m et la hauteur 5 m. Leurs ouvertures sont équipées des pièges à jacinthes dont une est en panne sur les deux passes laissant passé les jacinthes, ce qui constitue un problème au niveau de l'usine hydro-électrique et la prise de restitution de Sotuba.



Prises du chenal d'amené

Le chenal d'amené, long de 3 km, transite un débit maximum de 130 m³/s nécessaire pour le fonctionnement de la centrale hydro-électrique et pour l'alimentation du périmètre de Baguinéda à partir de la prise de restitution.

La prise de restitution de Sotuba doit livrer un débit maximum de 10.5 m³/s au périmètre de Baguinéda. Elle est constituée de deux vannes électriques à commande manuelle. La lecture du

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

niveau d'eau se fait à l'amont et à l'aval de la prise. Le débit transité vers le périmètre est déterminé en fonction du niveau d'eau (lecture amont et aval) et du degré d'ouverture des vannes électriques.



Prise de restitution de Sotuba

Rutabara et Mr Drissa TRAORE, agent de l'OPIB, en train d'inspecter la prise et vérifier le degré d'ouverture des vannes

➤ Infrastructures hydroagricoles du périmètre irrigué de Baguinéda

Réseau d'irrigation

L'approvisionnement en eau d'irrigation du périmètre se fait à partir de la prise de restitution de Sotuba par un canal principal de 37 km de long. Il comprend un tronçon revêtu d'environ 27 km et un tronçon non revêtu de 10 km qui constitue la tête morte. 7 régulateurs, délimitant les différents biefs, sont installés tout au long du canal principal. Le rôle de chaque régulateur est de sécuriser le fonctionnement des différentes prises des canaux secondaires en amont de l'ouvrage et de lâcher le débit nécessaire pour l'irrigation en aval.

Le canal principal dessert 53 canaux secondaires d'une longueur totale de 56 660 m, situés à sa rive gauche. Les canaux secondaires alimentent les canaux tertiaires appelés arroseurs, totalisant une longueur de 144 km. Les arroseurs desservent les rigoles, irriguant directement les parcelles (Groupement Africonsult 2014). Le tableau ci-dessous donne les dimensions des canaux (SEE 2014) :

Dimensions des canaux d'irrigation

Paramètres	Canaux secondaires	Canaux tertiaires	Rigoles
Profondeur h (m)		0.72	0.35
Tirant d'eau d (m)	0.50-0.75	0.30	
Base b (m)	0.50-0.80	0.40-0.50	0.40
m (fruit de berge)	1	1	0
Longueur canal (m)	250-2500	Très variable	

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Les canaux secondaires comportent (Groupement Africonsult 2014):

- 441 ouvrages de prise tertiaire avec déversoir aval ;
- 267 régulateurs de niveau d'eau ;
- 241 dalots de franchissement pour passage véhicules et autres engins ;
- 105 dalots de franchissements pour passage piéton.

Réseau de drainage

Ce réseau est constitué de rigoles, de drains tertiaires, de drains secondaires, de collecteurs ou drains primaires ainsi que de drains de ceintures. Il permet d'évacuer les excès d'eau de pluie et d'irrigation et lutter contre l'engorgement de terres irriguées. Le tableau ci-après présente les dimensions initiales des drains tertiaires et secondaires (NIPPON 1989) :

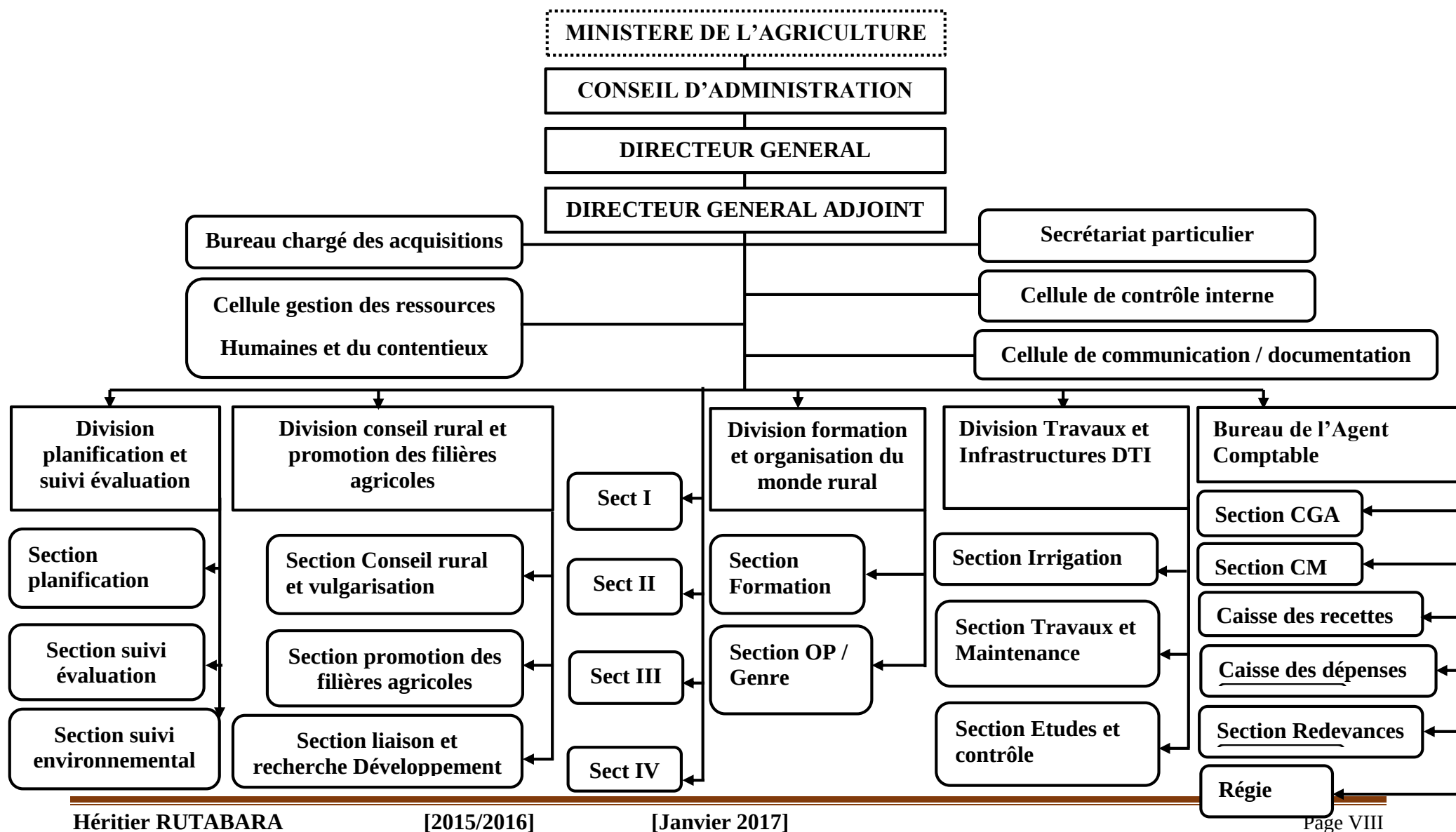
Dimensions initiales des drains

Paramètres	Drains tertiaires	Drains secondaires
Profondeur h (m)	0.80	0.80-1.30
Tirant d'eau d (m)	0.60	
Base b (m)	0.30	0.50-1.00
m (fruit de berge)	1	3/2

➤ Distribution de l'eau dans le périmètre

Le périmètre a été conçu sur la base de l'irrigation continue, apport de débit 24 h/24, pour satisfaire les besoins en eau des cultures. Les besoins en eau ont été initialement évalués sur la base d'un réseau de distribution entièrement en terre. Ils varient durant la campagne entre 0.5 et 3.0 l/s/ha. Dans le réseau d'irrigation, la commande se fait à l'amont au moyen des vannes plates. Le tour d'eau est de 7 jours et la main d'eau à la prise de la rigole (quaternaire) a été établie entre 15 et 20 l/s (Groupement Africonsult 2014; SEE 2014).

E. Annexe 5 : Organigramme de l'OPIB



**F. Annexe 6 : Organisation paysanne à l'OPIB et rôles des différents acteurs
intervenant dans l'entretien du réseau secondaire et tertiaire**

Organisation paysanne à l'OPIB

- GUE (Groupe d'utilisateurs d'Eau) : responsables d'irrigation sur les canaux tertiaires.
- CEE (Comité d'Exploitation et d'Entretien des réseaux d'irrigation et de drainage) : a en charge la gestion des canaux secondaires. Les membres de ce comité sont appelés chefs partiteurs
- CPEE (Comité Paritaire d'Exploitation et d'Entretien des réseaux d'irrigation et de drainage) : composé de 8 représentants des exploitants agricoles et 8 représentants de l'OPIB, est un comité qui sert d'intermédiaire entre la direction de l'OPIB et le groupement paysan.

Rôles des différents acteurs intervenant dans l'entretien du réseau secondaire et tertiaire

<u>GP/Exploitant</u> (Aiguadier)	<u>GUE/Chef CT</u> (Aiguadier)	<u>Chef CS</u> (Aiguadier/Chef Casier)	<u>Comité Paritaire</u> (Chef Service Gestion)
Entretien de l'infrastructure du réseau : - CT - Drain CT - Pistes - Ouvrages	• Planifier et organiser les travaux d'entretien sur le CT/drain CT • Suivre les attributions des exploitants • Collecter l'avancement des travaux d'entretien sur CT/drain CT. • Passer les informations sur le dysfonctionnement	• Suivre l'état et le fonctionnement du CS et drain CS • Conseiller le Comité Paritaire à la programmation des travaux d'entretien • Suivre l'exécution des travaux d'entretien par l'entreprise • Passer les informations sur le dysfonctionnement	• Collecter aux Chefs CS l'état et fonctionnement • Conseiller le Service G.E. à la programmation des travaux d'entretien • Suivre l'exécution des travaux d'entretien par l'entreprise • Passer les informations sur le dysfonctionnement

CT : Canal tertiaire, CS : Canal secondaire, GUE : Groupe d'Utilisateurs d'Eau, GP : Groupement Paysan, GE : Gestionnaire Eau

Source : OPIB

G. Annexe 7 : Questionnaire testé à Tiéfara

1. Thème d'Enquête 1 (TE1): Type de culture

QTE1 : Quel type de culture peut vous inciter à mieux entretenir les drains ?

Code	Type de culture	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE1.1	Riz		
RQTE1.2	Maïs		
RQTE1.3	Oignon		
RQTE1.4	Tomate		
RQTE1.5	Choux		
RQTE1.6	Autres :		

2. Thème d'Enquête 2 (TE2): Performance de production

QTE2.1 : Quel rendement du riz serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Code	Riz	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE2.1.1	3t/ha		
RQTE2.1.2	5t/ha		
RQTE2.1.3	10t/ha ou plus		

QTE2.2 : Quel rendement du maïs serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Code	Maïs	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE2.2.1	5t/ha		
RQTE2.2.2	10t/ha		
RQTE2.2.3	15t/ha ou plus		

QTE2.3 : Quel rendement maraîcher serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Code	Maraîchage	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE2.3.1	15t/ha		
RQTE2.3.2	20t/ha		
RQTE2.3.3	30t/ha ou plus		

3. Thème d'Enquête 3 (TE3): Matériel d'entretien

QTE3: Quel type de kit d'entretien vous semble approprié pour que vous engagiez personnellement dans l'entretien de vos drains ?

Code	KIT crédit ^(a) (pour 1 parcelle ou pour 1 hectare)	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE3.1	KIT1 = 2 dabas+2 pelles + 2 pioches		
RQTE3.2	KIT2=KIT1+1 charrette		
RQTE3.3	KIT3 ^(b) = KIT1+Faucheuse électrique à batterie rechargeable + 2 batteries 100 AH+2 plaques solaires 100Wc		
RQTE3.4	Choix paysan :		

^(a)KIT à rembourser en 5 ans maxi ^(b) Respect des 3 piliers de l'agriculture "climato intelligente (FAO, 2013)

4. Thème d'Enquête 4 (TE4): Équité de distribution d'eau

QTE4: Pensez-vous que le fait vous ne receviez pas l'eau au bon moment et en quantité suffisante vous décourage à l'entretien des drains ?

Code	Facteur	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE4.1	Tour d'eau respecté		
RQTE4.2	Quantité d'eau suffisante		
RQTE4.3	Choix paysan :		

5. Thème d'Enquête 5 (TE5): Statut foncier

QTE5: Quel statut foncier vous motiverait-il personnellement à nettoyer vos canaux de drainage ?

Code	Type de contrat	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE5.1	PO		
RQTE5.2	PE		
RQTE5.3	AMD		
RQTE5.4	BA		

6. Thème d'Enquête 6 (TE6): Taille de parcelle

QTE6: Quelle taille de parcelle à vous attribuer serait la plus motivante pour l'entretien de vos drains ?

Code	Taille de parcelle (ha)	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE6.1	0.25		
RQTE6.2	0.50		
RQTE6.3	1.0		
RQTE6.4	2.0		
RQTE6.5	3.0		

7. Thème d'Enquête 7 (TE7): Autres

QTE7: Quel est selon vous le facteur le plus important qui vous inciterait à l'entretien de vos drains ?

Code	Facteur incitatif	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE7.1			
RQTE7.2			
RQTE7.3			

H. Annexe 8 : Questionnaire administré à Baguinéda

1. Thème d'Enquête 1 (TE1): Type de culture

QTE1.1 : Quel type de culture peut vous inciter à mieux entretenir les drains ?

Code	Type de culture	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE1.1.1	Riz		
RQTE1.1.2	Maïs		
RQTE1.1.3	Oignon		
RQTE1.1.4	Tomate		
RQTE1.1.5	Choux		
RQTE1.1.6	Autres (préciser)		

QTE1.2 : Pour quel type de culture l'engorgement ou l'inondation du sol vous pose un problème?

Code	Type de culture	Note sur 20	Observations (raison de la note extrême et nature du problème)
RQTE1.2.1	Riz		
RQTE1.2.2	Maïs		
RQTE1.2.3	Oignon		
RQTE1.2.4	Tomate		
RQTE1.2.5	Choux		
RQTE1.2.6	Autres (préciser)		

2. Thème d'Enquête 2 (TE2): Performance de production

QTE2.1 : Quel rendement du riz serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Code	Riz	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE2.1.1	3		
RQTE2.1.2	5		
RQTE2.1.3	10 ou plus		

**La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs -
Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)**

QTE2.2 : Quel rendement du maïs serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Code	Maïs	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE2.2.1	5		
RQTE2.2.2	10		
RQTE2.2.3	15 ou plus		

QTE2.3 : Quel rendement d'oignon serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Code	Oignon	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE2.3.1	15		
RQTE2.3.2	20		
RQTE2.3.3	30 ou plus		

QTE2.4 : Quel rendement de tomate serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Code	Tomate	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE2.4.1	15		
RQTE2.4.2	20		
RQTE2.4.3	30 ou plus		

QTE2.5 : Quel rendement de chou serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Code	Choux	Note sur 20	Observations (raison de la note extrême)
RQTE2.5.1	15		
RQTE2.5.2	20		
RQTE2.5.3	30 ou plus		

3. Thème d'Enquête 3 (TE3): Matériel d'entretien

QTE3: Quel type de kit d'entretien vous semble approprié pour que vous engagiez personnellement dans l'entretien de vos drains ?

Code	KIT crédit ^(a) (pour 1 parcelle ou pour 1 hectare)	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE3.1	KIT1 = 2 dabas+2 pelles + 2 pioches		
RQTE3.2	KIT2=KIT1+1 charrette		
RQTE3.3	KIT3 ^(b) = KIT1+Faucheuse électrique à batterie rechargeable + 2 batteries 100 AH+2 plaques solaires 100Wc		
Autre	Choix paysan		

^(a)KIT à rembourser en 5 ans maxi ^(b) Respect des 3 piliers de l'agriculture "climato intelligente (FAO, 2013)

4. Thème d'Enquête 4 (TE4): Équité de distribution d'eau

QTE4: Pensez-vous que le fait que vous ne receviez pas l'eau au bon moment et en quantité suffisante vous décourage à l'entretien des drains ?

Code	Facteur	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE4.1	Tour d'eau respecté		
RQTE4.2	Quantité d'eau suffisante		
Autre	Choix paysan		

5. Thème d'Enquête 5 (TE5): Exploitation agricole

QTE5: Quelle taille d'exploitation à vous attribuer serait la plus motivante pour l'entretien de vos drains ?

Code	Taille d'exploitation (ha)	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE5.1	0.25		
RQTE5.2	0.50		
RQTE5.3	1.0		
RQTE5.4	2.0		
RQTE5.5	3.0		

6. Thème d'Enquête 6 (TE6): Toxicité en fer

QTE6 : Pensez-vous que le problème de fer contribue à la réduction de votre rendement ?

Oui

Non

Si oui, comment est-ce qu'il impact votre rendement ?

Code	Réduction du rendement	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE6.1	Rendement nul		
RQTE6.2	Rendement /4		
RQTE6.3	Rendement /2		
RQTE6.4	Autres (à préciser)		

7. Thème d'Enquête 7 (TE7): Problèmes rencontrés et solutions

QTE7.1: Parmi les problèmes ci-dessous, lesquels vous démotivent pour l'entretien des drains?

Code	Problèmes	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE7.1.1	Manque de Mains d'œuvres		
RQTE7.1.2	Manque d'équipements		
RQTE7.1.3	Manque de coordination avec les voisins		
RQTE7.1.4	Autre		

QTE7.2: Parmi les solutions ci-dessous, lesquelles vous trouvez appropriées au problème de l'entretien des drains ?

Code	Problèmes	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE7.2.1	Petit équipement		
RQTE7.2.2	Travail en commun		
RQTE7.2.3	Contrat de maintenance		
RQTE7.2.4	Nécessité de formation à l'entretien		
RQTE7.2.5	Appui à l'organisation de l'entretien des drains		
RQTE7.2.6	Autre		

8. Thème d'Enquête 8 (TE8) : Thème de formation

QTE8: Quel thème de formation vous semble utile pour vous aider efficacement à entretenir les drains ?

Code	Problèmes	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE8.1	Formation sur les petits équipements d'entretien		
RQTE8.2	Formation sur l'organisation de l'entretien des drains		
RQTE8.3	Autre		

9. Thème d'Enquête 9 (TE9): Autres

QTE9: Quel est selon vous le facteur le plus important qui vous inciterait à l'entretien de vos drains ?

Code	Facteur incitatif	Note sur 20	Observations (raison de la note si possible)
RQTE9.1	Donner le facteur		

I. Annexe 9 : Questionnaire administré aux cadres de l'OPIB

1. Thème d'Enquête 1 (TE1): Type de culture

- **QTE 1.1 :** Quel type de culture peut inciter l'exploitant à mieux entretenir les drains ? Veiller classer les cultures ci-dessous par ordre d'importance.

- Riz ☐
- Maïs ☐
- oignon ☐
- tomate ☐
- chou ☐

Raison de la culture la plus importante :

.....

- **QTE 1.2 :** Pour quel type de culture l'engorgement ou l'inondation du sol peut poser un problème? Veiller classer les cultures ci-dessous par ordre de sensibilité à l'engorgement ou l'inondation

- Riz ☐
- Maïs ☐
- oignon ☐
- tomate ☐
- chou ☐

2. Thème d'Enquête 2 (TE2): Performance de production

- Quel est le rendement maximum (t/ha) qui a été réalisé ici à Baguinéda pour

- Le riz :
- Le maïs :
- L'oignon :
- La tomate :
- Le chou :

- Pensez-vous qu'il existe un lien entre la performance de la production et l'entretien des drains chez les paysans ?

Oui ☐ Non ☐

3. Thème d'Enquête 3 (TE3): Équité de distribution d'eau

Pensez-vous que le fait que les paysans ne reçoivent pas l'eau au bon moment et en quantité suffisante les décourage à l'entretien des drains ?

Oui ☐ Non ☐

4. Thème d'Enquête 4 (TE4): Problèmes rencontrés et solutions

Parmi les problèmes ci-dessous, lesquels constituent des freins à l'OPIB pour l'entretien des drains ? Veiller classer les problèmes ci-dessous par ordre d'importance.

- Manque de Mains d'œuvres ☐
- Manque d'engagement de la Direction ☐
- Manque de coordination au sein de l'OPIB ☐
- Budget insuffisant ☐
- Autre :

Parmi les solutions ci-dessous, lesquelles vous trouvez appropriées au problème de l'entretien des drains ? Veiller classer les solutions ci-dessous par ordre d'importance.

- Contrat de maintenance ☐
- Nécessité de formation à l'entretien ☐
- Disponibilité de moyens financiers ☐
- Autre :

5. Thème d'Enquête 5 (TE5) : Thème de formation

Quel thème de formation vous semble utile pour créer un stimulant à l'entretien des drains par l'OPIB ?

.....

J. Annexe 10 : La répartition de l'échantillon selon les villages

STRATES		PAYSANS ORDINAIRES		PAYSANS RESPONSABLES		Observations
SOUS STRATES	Village	Effectif total	Taille échantillon	Effectif total	Taille échantillon	
ZONE A RISQUE ELEVE D'INONDATION	Dougoulakoro	50	1	5	0	zone à risque élevé d'inondation: drain 1 (CSK1-CSK2), drains 5 et 6 (CSK13-CSK16) et drain 10 (CSB4-CSB9)
	Kobala coura	93	2	15	1	
	Kobala coro	80	2	12	1	
	Baguineda camp	424	8	60	4	
	Baguineda village	71	1	13	1	
	Kognimba	51	1	27	1	
	Soundougouba II	115	3	45	2	
SOUS TOTAL		884	18	177	10	
ZONE A FAIBLE RISQUE D'INONDATION	Kobala coura	45	1	12	1	zone à faible risque d'inondation: CSK3-CSK12, CSK17 CSB10-CSB12
	Nimizatt	71	2	7	0	
	Kobala coro	10	0	—	—	
	Dougourakoro	196	4	23	1	
	kognigni	161	3	15	1	
	Soundougouba II	58	1	20	2	
	Ngogna	147	3	22	1	
SOUS TOTAL		688	14	99	6	
TOTAL		1572	32	276	16	

K. Annexe 11 : Listes des paysans enquêtés

Paysans ordinaires: Zone à risque élevé d'inondation (Sous strate 1)						
ID du sondé	Nom Village	Secteur	Prénom	Nom	Code canal irrigation	Temps d'enquête (min)
PO1	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Alphonse	TRAORE	CSB 4 CT14 A6 PG200	
PO14	BAGUINEDA VILLAGE	Secteur 2	Seydou N'Fah	DIARRA	CSB4 CT6 A1 PDG100	65
PO7	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Seydou	MARIKO	CSB 4 CT14 A5 PG200	80
PO8	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Karamoko	DIARRA	CSB 7 CT4 A2 PG201	95
PO9	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Mody	DIEFFAGA	CSB 5 CT1 A1 PG400	90
PO10	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Mahamadou	KASSOGUE	CSB 5 CT3 A3 PD300	85
PO16	SOUNDOUGOUBA II	Secteur 2	Moulaye	DOUCOURE	CSB 8 CT4 A2 PG100	120
PO11	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Gaoussou	CISSE	CSB 4 CT11 A4 PD300	100
PO12	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Issa Foungocha	GOITA	CSB 5 CT13 A1 PD300	110
PO13	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Mamadou	KONE	CSB 7 CT15 A1 PD100	85
PO17	SOUNDOUGOUBA II	Secteur 2	Ladji	DEMBELE	CSB 8 CT1 A1 PD300	95
PO2	DOUGOURAKORO	Secteur 1	Assétou	TRAORE	CSK1 CT2 A4 PD200	70
PO3	KOBALA COURA	Secteur 1	Daouda	DOUMBIA	CSK13 CT7 A2 PG100	75
PO4	KOBALA COURA	Secteur 1	Yaya	DIARRA	CSK13 CT11 A3 PD100	70
PO5	KOBALA CORO	Secteur 1	Bakary	COULIBALY	CSK16 CT12 A2 PD100	65
PO15	KOGNIMBA	Secteur 2	Nianankoro	SINAYOGO	CSB 6 CT9 A1 PG100	60
PO6	KOBALA CORO	Secteur 1	Minkoro	SYLLA	CSK16 CT6 A1 PD100	55
PO32	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Abdoulaye	DEMBELE	CSB 5 CT2 A1 PD300	110

Paysans ordinaires: Zone à faible risque d'inondation (Sous strate 2)						
ID du sondé	Nom Village	Secteur	Prénom	Nom	Code canal irrigation	Temps d'enquête (min)
PO27	SOUNDOUGOUBA II	Secteur 2	Abdoul Karim	DIARRA	CSB 11 CT3 A2 PD100	85
PO21	DOUGOURAKORO	Secteur 1	Drissa Tianegué	COULIBALY	CSK6 CT3 A2 PD200	75
PO22	DOUGOURAKORO	Secteur 1	Madou	TRAORE	CSK 6 CT2 A4 PD100	50
PO23	DOUGOURAKORO	Secteur 1	Bassirou	DIARRA	CSK4 CT2 A1 PG100	95
PO24	DOUGOURAKORO	Secteur 1	SOUMAILA	TOGOLA	CSK4 CT3 A4 PG100	75
PO18	KOBALA COURA	Secteur 1	Daouda	SACKO	CSK12 CT2 A1 PG100	50
PO25	KOGNINI	Secteur 1	Diokolo	TRAORE	CSK8 CT7 A2 PD200	60
PO24	KOGNINI	Secteur 1	Harouna	TRAORE	CSK7 CT1 A1 PG200	50
PO26	KOGNINI	Secteur 1	Abdoulaye	TOGOLA	CSK8 CT9 A4 PG100	65
PO19	NIMIZATT	Secteur 1	Mamadou	DIABATE	CSK9 CT5 A2 PG100	50
PO28	GNOGNA	Secteur 2	Tamba	SYLLA	CSB 12 CT5 A3 PD100	80
PO29	GNOGNA	Secteur 2	Bina N°2	DIARRA	CSB 12 CT6 A2 PD100	50
PO30	GNOGNA	Secteur 2	Boukary	SAMAKE	CSB 12 CT13 A1 PD100	60
PO31	NIMIZATT	Secteur 1	Samba	SYLLA	CSK9 CT3 A2 PD100	55

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs -Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Paysans responsables: Zone à risque élevé d'inondation (Sous strate 1)						
ID du sondé	Nom Village	Secteur	Prenom	Nom	Code canal irrigation	Temps d'enquête (min)
PR4	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Boubacar	COMOGARA	CSB 7 CT1 A2 PG100	
PR5	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Souleymane	OUEDRAOGO	CSB 7 CT15 A2 PD100	120
PR6	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Dramane	DIALLO	CSB 5 CT6 A1 PG200	80
PR7	BAGUINEDA CAMP	Secteur 2	Siacka	TRAORE	CSB 5 CT3 A4 PG100	70
PR9	SOUNDOUGOUBA II	Secteur 2	Sékoudian	TRAORE	CSB 8 CT2 A1 PD200	50
PR10	SOUNDOUGOUBA II	Secteur 2	N'tie O	DIARRA	CSB 9 CT9 A1 PG100	90
PR1	KOBALA COURA	Secteur 1	Ousmane	DIARRA	CSK13 CT5 A2 PG100	70
PR2	KOBALA CORO	Secteur 1	Modibo	SANGARE	CSK16 CT3 A1 PD100	65
PR8	KOGNIMBA	Secteur 2	Bakary	SIDIBE	CSB 6 CT9 PG100	65
PR3	BAGUINEDA VILLAGE	Secteur 2	Moriba	DIARRA	CSB 4 CT4 A1 PG200	50

Paysans responsables: Zone à faible risque d'inondation (Sous strate 2)						
ID du sondé	Nom Village	Secteur	Prenom	Nom	Code canal irrigation	Temps d'enquête (min)
PR14	SOUNDOUGOUBA II	Secteur 2	Amadou	DOUMBIA	CSB 11 CT5 A2 PD100	70
PR15	SOUNDOUGOUBA II	Secteur 2	Ada	BOUARE	CSB 11 CT1 A3 PG100	50
PR11	DOUGOURAKORO	Secteur 1	Sidy	DIAKITE	CSK6 CT2 A1 PD100	95
PR13	KOBALA COURA	Secteur 1	Karim	DIARRA	CSK10 CT2 A2 PG100	60
PR12	KOGNINI	Secteur 1	Salif	TOGORA	CSK8 CT3 A2 PG200	65
PR16	GNOGNA	Secteur 2	Bourama	COULIBALY	CSB 12 CT8 A2 PGD100	65

L. Annexe 12 : Le test de la précision du GPS GARMIN Map 76CSx

Plusieurs facteurs peuvent influencer la précision d'un GPS (Freycon et Fauvet 1998) :

- Les effets relativistes : concernant, d'une part, la non synchronisation des horloges du satellite et du récepteur et, d'autre part, la différence entre l'orbite programmée du satellite et celle réellement suivie.
- Le multi-trajet : lorsque l'onde rencontre une surface (mur, arbre,...) elle est réfléchi et son parcours est rallongé.
- Le choix du satellite par le GPS : plus le satellite est bas à l'horizon, plus l'onde est sensible au multi-trajet.

Ainsi, pour apprécier la précision fournie par le GPS GARMIN Map 76CSx, un test de précision du GPS a été réalisé. Les coordonnées GPS d'un point (A) ont été déterminées avec la précision maximale que pouvait afficher le GPS ($\pm 5\text{m}$). Ensuite, sans éteindre le GPS, des vas et vient sur des distances d'environ 50m ont été effectués et à chaque retour sur le point A les coordonnées GPS étaient relevées, toujours avec la plus grande précision que pouvait donner le GPS. Pour chaque mesure, la différence entre les coordonnées XY mesurés à l'instant t et les coordonnées XY du point A, a permis de trouver la précision en X (ΔX) et en Y (ΔY) du GPS. Après 5 mesures sur le point A, nous avons obtenu en moyenne une précision de $\pm 2.6\text{m}$ en X, $\pm 1.4\text{m}$ en Y et une précision du GPS de $\pm 2\text{m}$. Ce test montre que le GPS utilisé à Baguinéda offre une bonne précision. Le tableau ci-après montre les résultats du test.

Points	Longitude (m)	Latitude (m)	Précision du GPS (m)	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔXY moyen (m)
A	662730	1368897	± 5			
1	662729	1368895	± 7	1	2	1.5
2	662729	1368898	± 7	1	1	1
3	662726	1368895	± 7	4	2	3
4	662729	1368895	± 9	1	2	1.5
5	662724	1368897	± 7	6	0	3
			Moyenne	2.6	1.4	2
			Ecart type	2.3	0.9	0.94

La précision du GPS est la moyenne des différents ΔXY . Ceci a permis de tester la précision du GPS, pour apprécier la précision que le GPS affiche sur son écran. La précision testée est de $\pm 2\text{m}$

M. Annexe 13 : Les tests statistiques et leurs conditions d'utilisation

❖ ANOVA et ses conditions d'utilisation

Bien qu'ANOVA se définisse comme une analyse des variances, elle utilise un seul test statistique pour comparer simultanément toutes les moyennes afin de vérifier s'il existe une différence entre elles (Mathews 2005). En effet, la procédure d'ANOVA est basée sur un test hypothétique appelé F-test, qui compare combien les populations diffèrent entre elles comparativement à la variabilité dans chaque population (Rumsey 2009). Si toutes les conditions de la limite centrale sont réunies –i.e. toutes les échantillons proviennent d'une même population (Montgomery 2008; Mathews 2005), le ratio F est égal à 1. Par contre, si une ou plusieurs moyennes sont différentes des autres, le ratio F sera plus grand que 1. La conclusion sur la différence des moyennes peut aussi se baser sur le niveau de signification (P-value).

Les conditions requises pour valider l'utilisation d'ANOVA sont (Rumsey 2009; Montgomery 2008; Mathews 2005) :

- Les populations échantillonnées suivent une distribution normale.
- Les populations échantillonnées sont homoscedastiques (même variance).
- Les observations sont indépendantes.

Ces conditions ont été vérifiées par l'analyse des graphes des résidus³ car ANOVA n'est pas particulièrement sensible à la déviation de certaines de ces conditions (Montgomery 2008; Mathews 2005). Par ailleurs, Mathews ajoute que si la condition d'homoscédasticité est vérifiée, un seul graphe de tous les résidus combinés est suffisant pour tester la normalité de tous les traitements⁴ en même temps. En plus, le test de Levene a permis de conclure sur l'homoscédasticité des populations lorsque cette condition n'était pas bien appréciée à partir des graphes des résidus. En fin, la condition d'indépendance des observations n'a pas été vérifiée dans cette étude, car l'ordre de passage des enquêtés ainsi que l'ordre de succession des questions aux thèmes d'enquêtes a été rendu aléatoire (Mathews 2005).

³ Un résidu est l'écart entre l'estimation du modèle (ANOVA) et la valeur réelle (Montgomery 2008).

⁴ Un traitement correspond à une réponse anticipée dans le cas de cette étude.

Bien qu'ANOVA indique s'il y existe ou pas une différence significative entre les moyennes des populations comparées, elle n'indique pas quelle paire de moyennes sont différentes. Des méthodes d'analyse post-ANOVA existent, permettant d'identifier la différence significative entre chaque paire de moyennes (Rumsey 2009; Montgomery 2008). Le test post-ANOVA adopté dans cette étude est le test de Tukey. Ce test a été choisi car il implique peu de calculs, est facile à rapporter et est assez populaire (Mathews 2005).

❖ *Les tests non-paramétriques et leurs conditions d'application*

Les tests non-paramétriques testent les médianes. Excepté les tests d'une seule médiane, comme le test des signes, les autres tests, comparant deux ou plusieurs médianes, exigent que (Rumsey 2009) :

- les échantillons aléatoires proviennent des populations indépendantes ;
- toutes les populations aient une même distribution ;
- les variances des populations soient les mêmes.

Le test des signes compare la médiane d'une population à une certaine valeur, le test de Mann-Whitney compare les médianes de deux populations tandis que le test de Kruskal-Wallis compare les médianes de deux ou plusieurs populations.

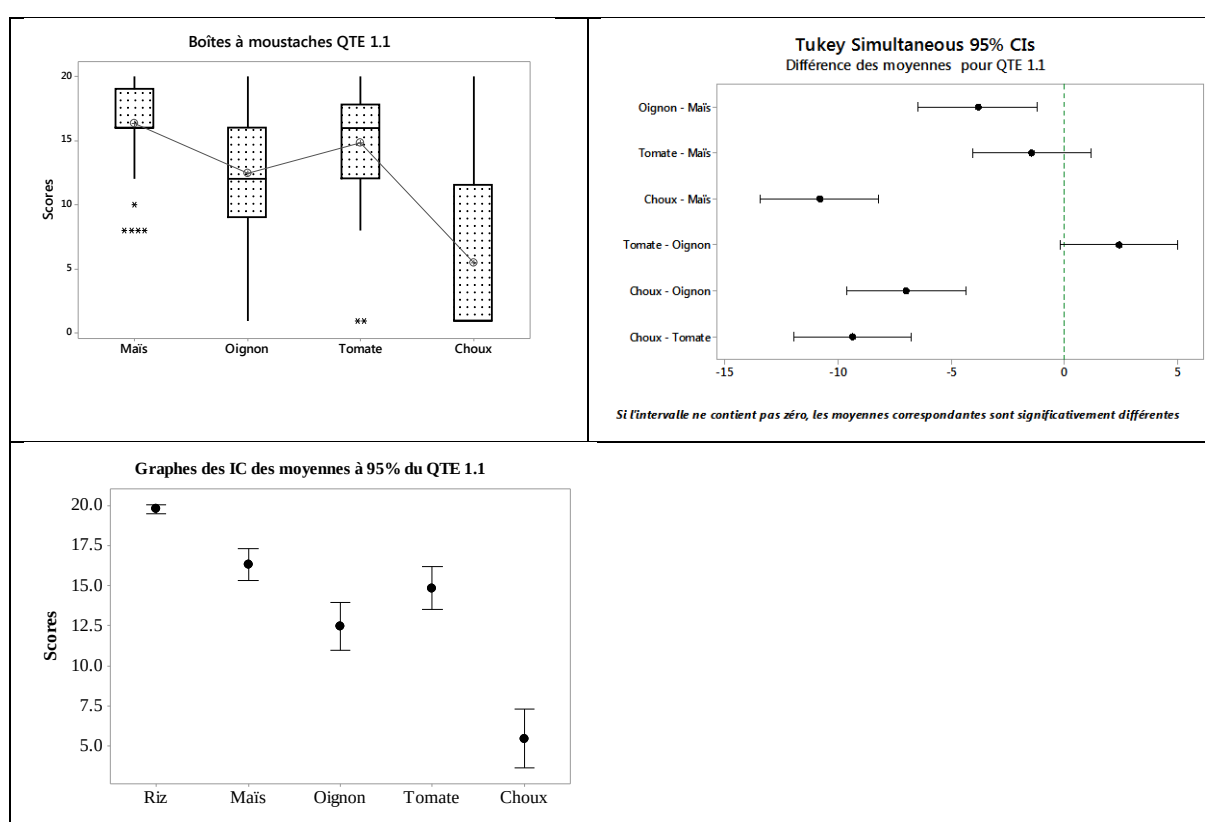
Le test de Kruskal-Wallis est similaire à ANOVA. Il indique seulement s'il existe ou pas une différence significative entre les médianes. Ainsi, pour identifier les médianes significativement différentes, nous avons fait recours au test de Mann-Whitney entre chaque paire de médianes (Rumsey 2009).

N. Annexe 14 : Graphes des résultats d'enquêtes

Annexe 14.1. QTE 1.1 : Quel type de culture peut vous inciter à mieux entretenir les drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 1.1

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
Riz	19.771	0.951	0.904	20.000	20.000	20.000
Maïs	16.333	3.385	11.461	16.000	16.000	19.000
Oignon	12.479	5.116	26.170	9.000	12.000	16.000
Tomate	14.854	4.548	20.680	12.000	16.000	17.750
Choux	5.479	6.267	39.276	1.000	1.000	11.500

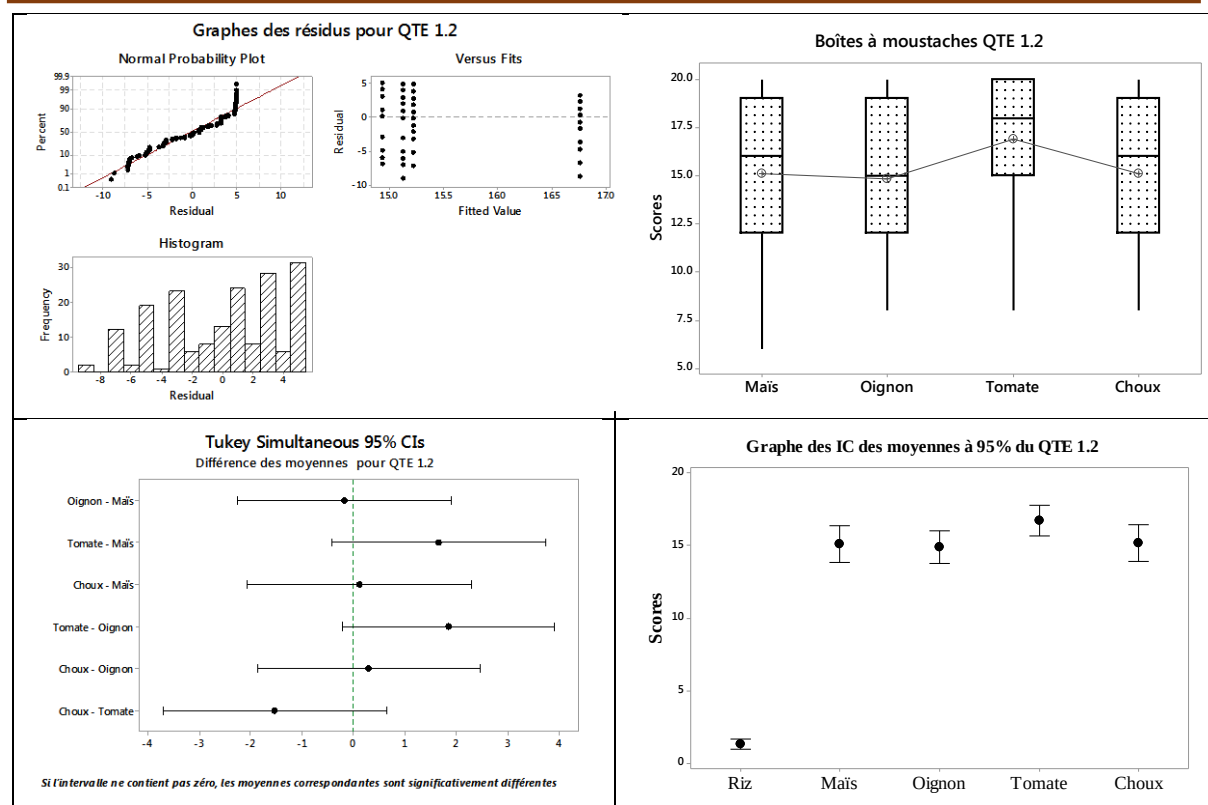


Annexe 14.2. QTE 1.2 : Pour quel type de culture l'engorgement ou l'inondation du sol vous pose un problème ?

Statistiques descriptives pour QTE 1.2

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
Riz	1.333	1.243	1.546	1.000	1.000	1.000
Maïs	15.128	4.220	17.809	12.000	16.000	19.000
Oignon	14.938	3.828	14.656	12.000	15.000	19.000
Tomate	16.771	3.604	12.989	13.500	18.000	20.000
Choux	15.225	3.945	15.563	12.000	16.000	19.750

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)



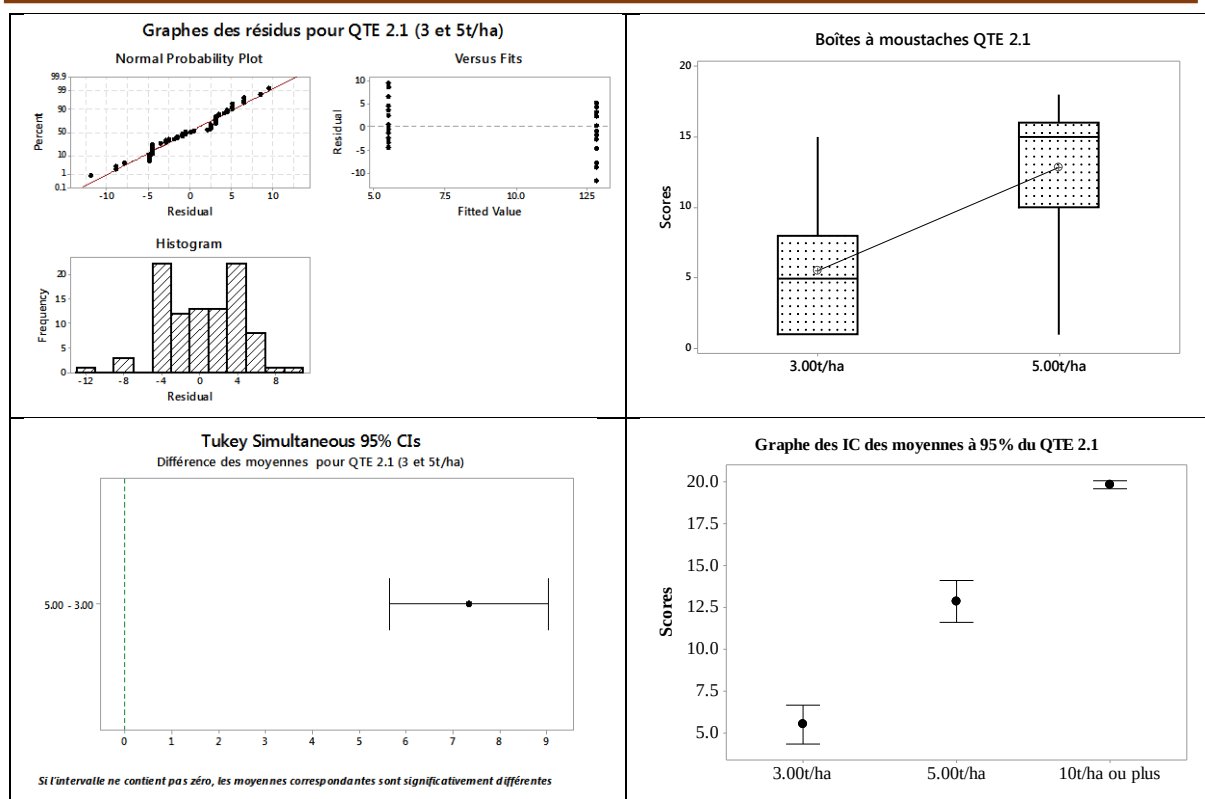
8 outliers (scores de 1) au niveau du chou ont été ignorés lors de traitement des données. La raison de les ignorer est dû au fait que la culture du chou est moins pratiquée par les paysans. Ainsi, une fois interrogés sur sa sensibilité à l'engorgement du sol, ils donnent une note de 1 pas parce que la culture est moins sensible à l'engorgement du sol, mais parce qu'ils ne la maîtrisent pas bien. L'omission de ces valeurs dans le traitement a permis de vérifier la condition d'homoscédasticité, permettant ainsi de valider ANOVA. Par ailleurs, le graphe de normalité montre une légère déviation des résidus à la normalité. Mais comme le mentionne Mathews (2005), ANOVA n'est pas sensible à la déviation de la normalité.

Annexe 14.3. QTE 2.1 : Quel rendement du riz serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 2.1

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
3t/ha	5.521	4.042	16.340	1.000	5.000	8.000
5t/ha	12.854	4.322	18.680	10.000	15.000	16.000
10t/ha ou plus	19.833	0.808	0.652	20.000	20.000	20.000

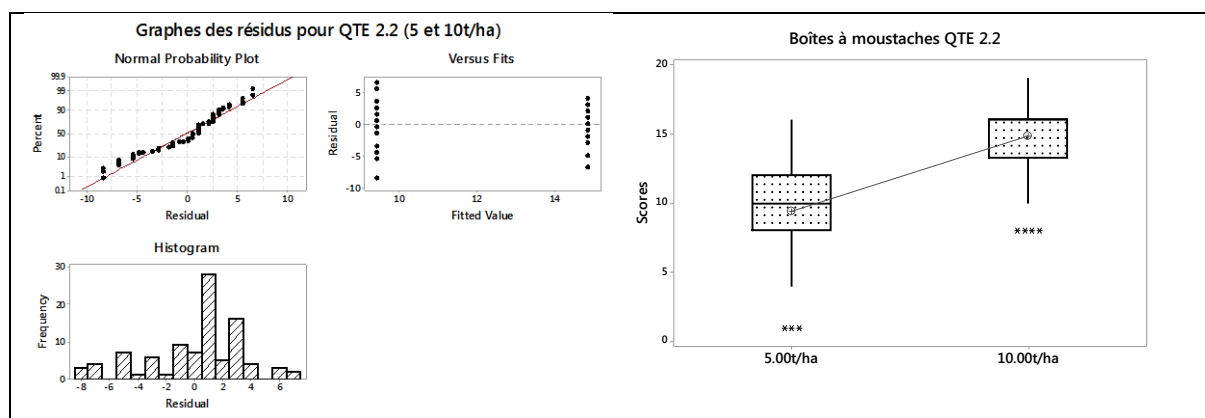
La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)



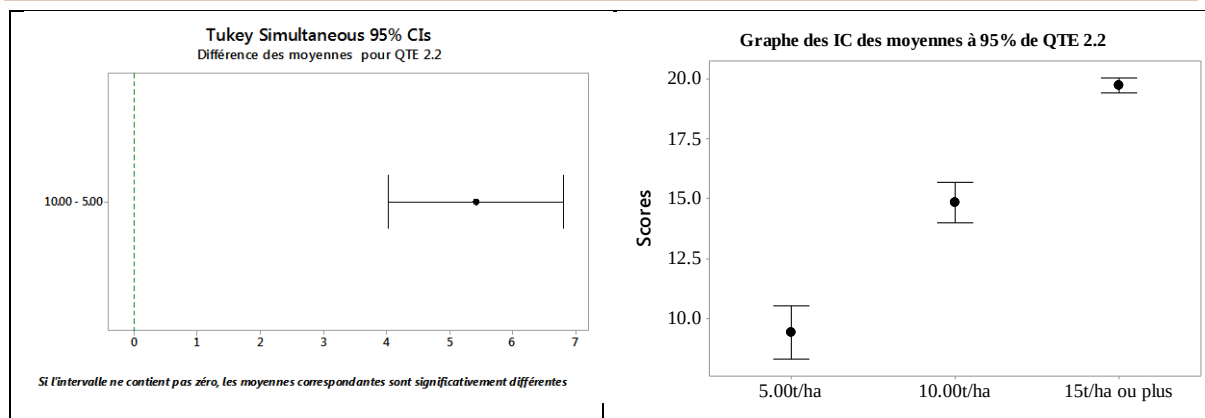
Annexe 14.4. QTE 2.2 : Quel rendement du maïs serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 2.2

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
5t/ha	9.438	3.837	14.719	8.000	10.000	12.000
10t/ha	14.854	2.939	8.638	13.250	16.000	16.000
15t/ha ou plus	19.729	1.067	1.138	20.000	20.000	20.000



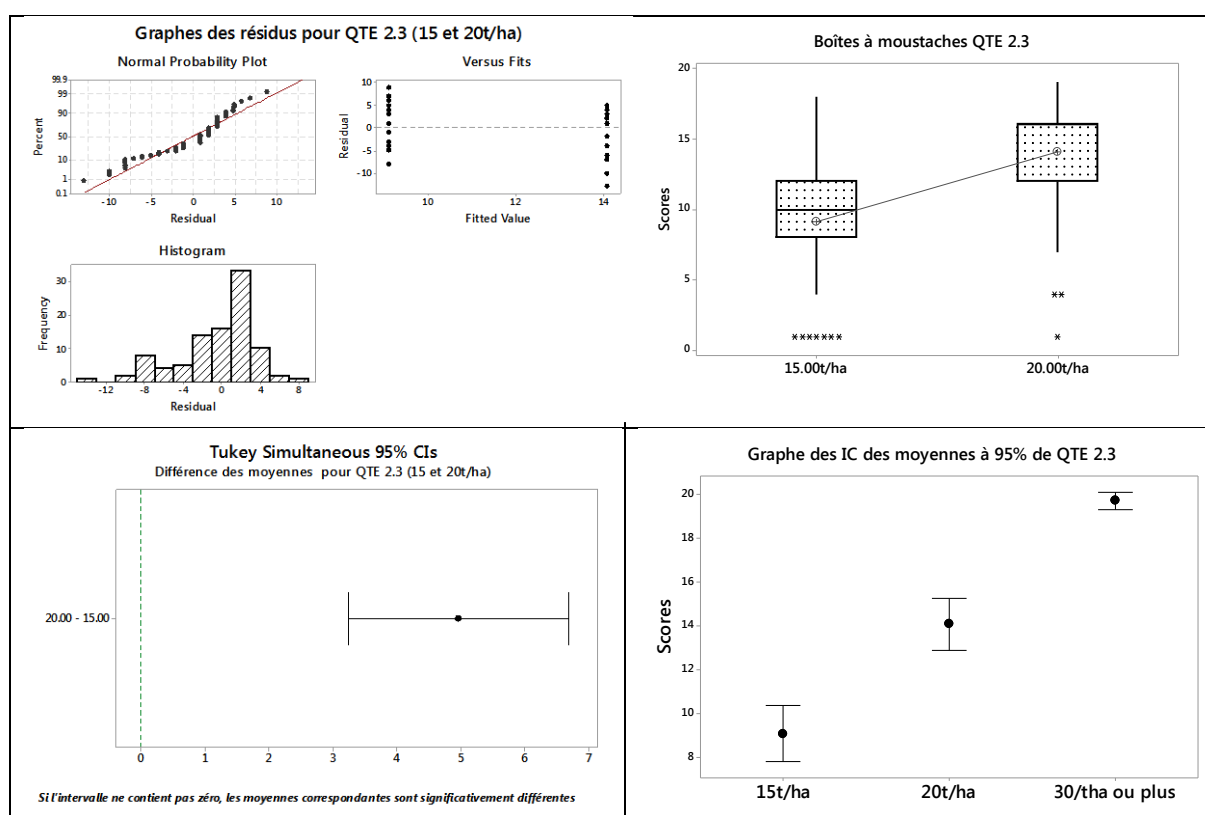
La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)



Annexe 14.5. QTE 2.3 : Quel rendement d'oignon serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 2.3

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
15t/ha	9.125	4.408	19.431	8.000	10.000	12.000
20t/ha	14.083	4.073	16.589	12.000	16.000	16.000
30t/ha ou plus	19.375	2.614	6.835	20.000	20.000	20.000

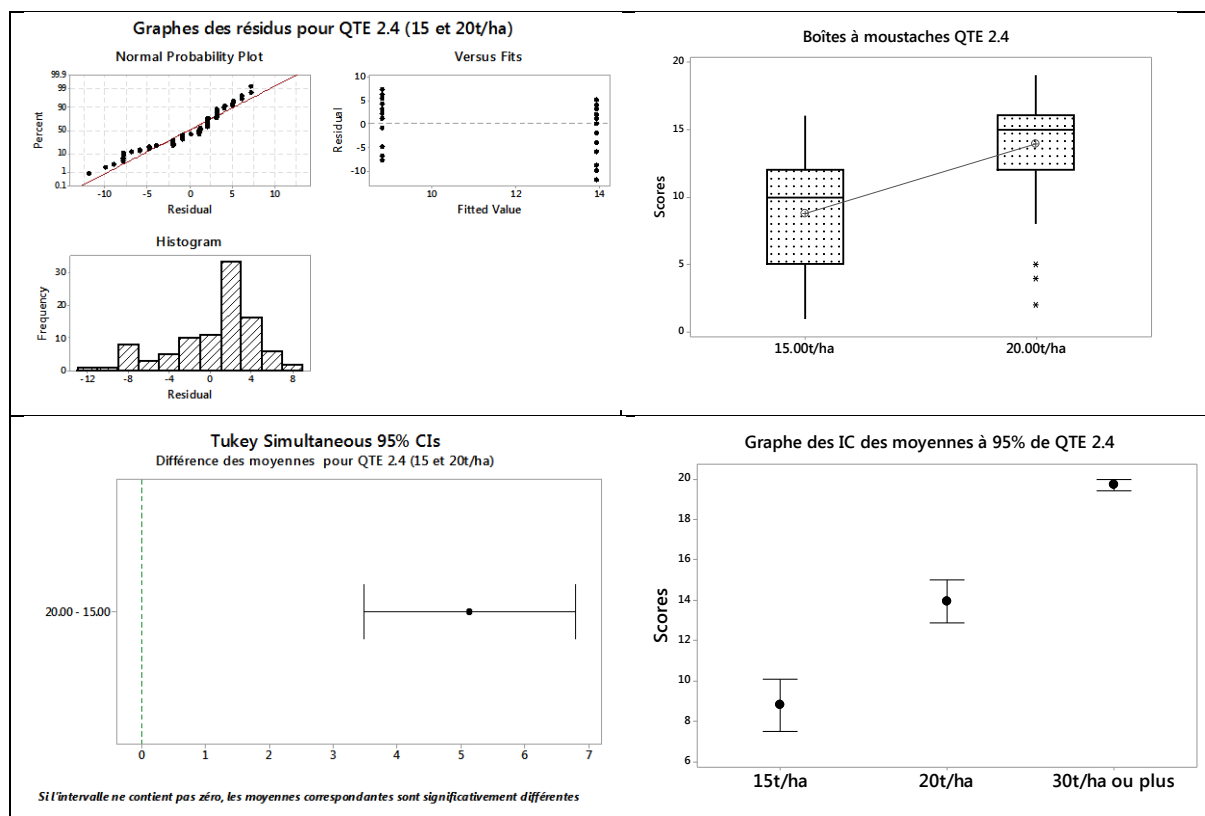


La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

Annexe 14.6. QTE 2.4 : Quel rendement de tomate serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 2.4

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
15t/ha	8.813	4.518	20.411	5.000	10.000	12.000
20t/ha	13.938	3.634	13.209	12.000	15.000	16.000
30t/ha ou plus	19.708	0.944	0.892	20.000	20.000	20.000

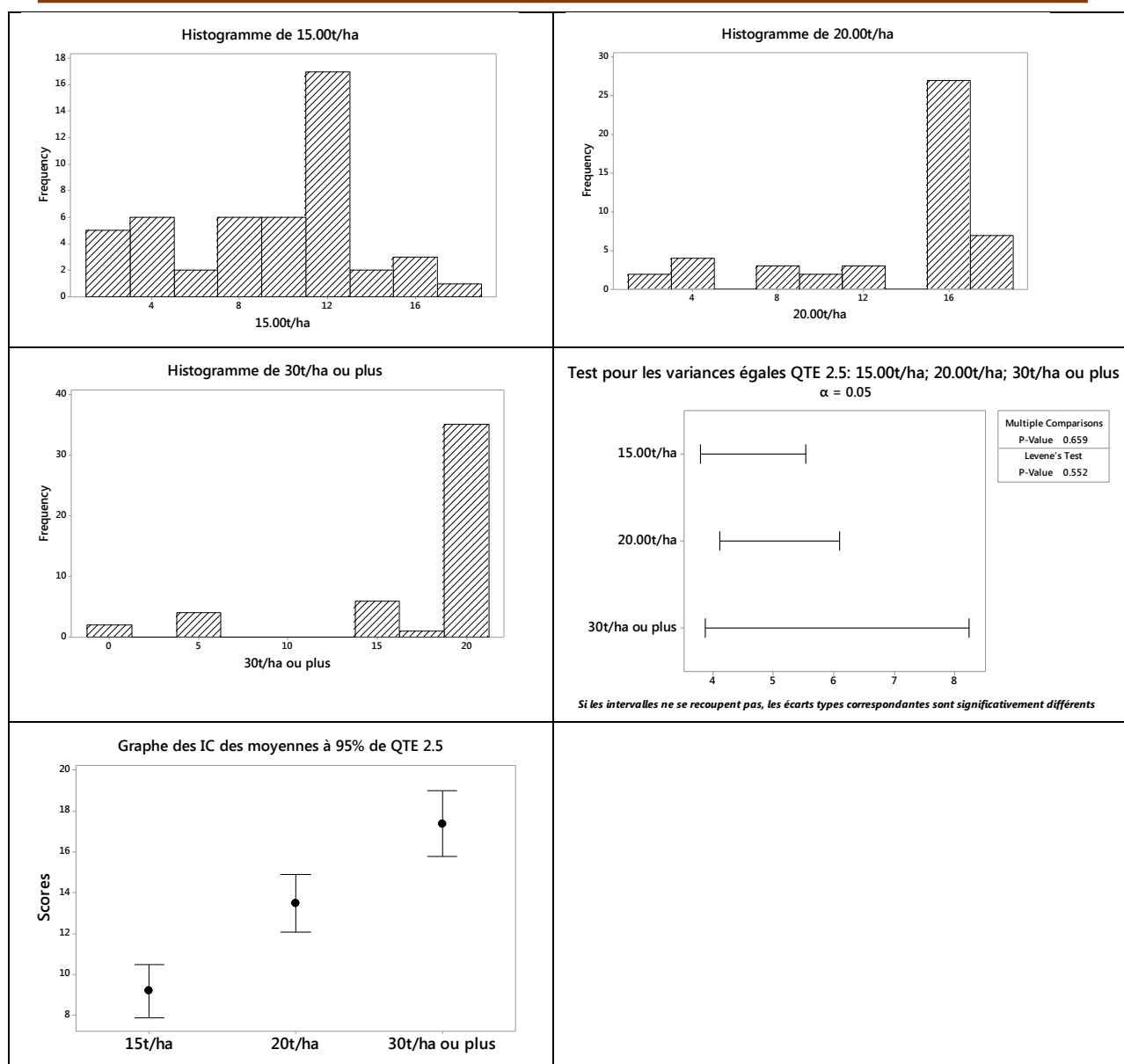


Annexe 14.7. QTE 2.5 : Quel rendement de chou serait encourageant pour le nettoyage des drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 2.5

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
15.00t/ha	9.188	4.461	19.900	5.000	10.000	12.000
20.00t/ha	13.479	4.882	23.829	12.000	16.000	16.000
30t/ha ou plus	17.375	5.507	30.324	16.500	20.000	20.000

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

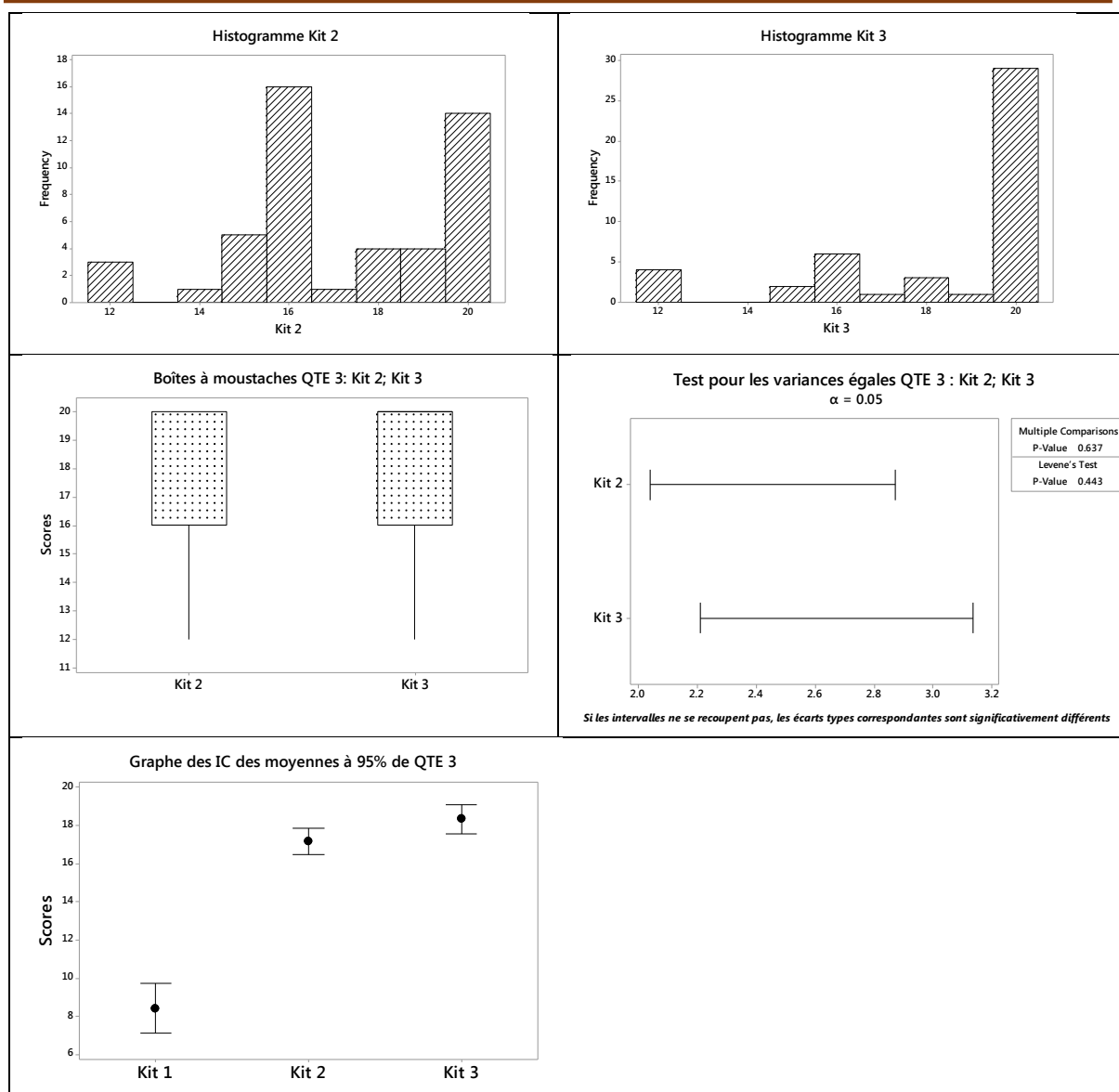


Annexe 14.8. QTE3: Quel type de kit d'entretien vous semble approprié pour que vous engagiez personnellement dans l'entretien de vos drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 3

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
Kit 1	8.438	4.438	19.698	4.250	8.500	12.000
Kit 2	17.208	2.370	5.615	16.000	16.000	20.000
Kit 3	18.348	2.575	6.632	16.000	20.000	20.000

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)



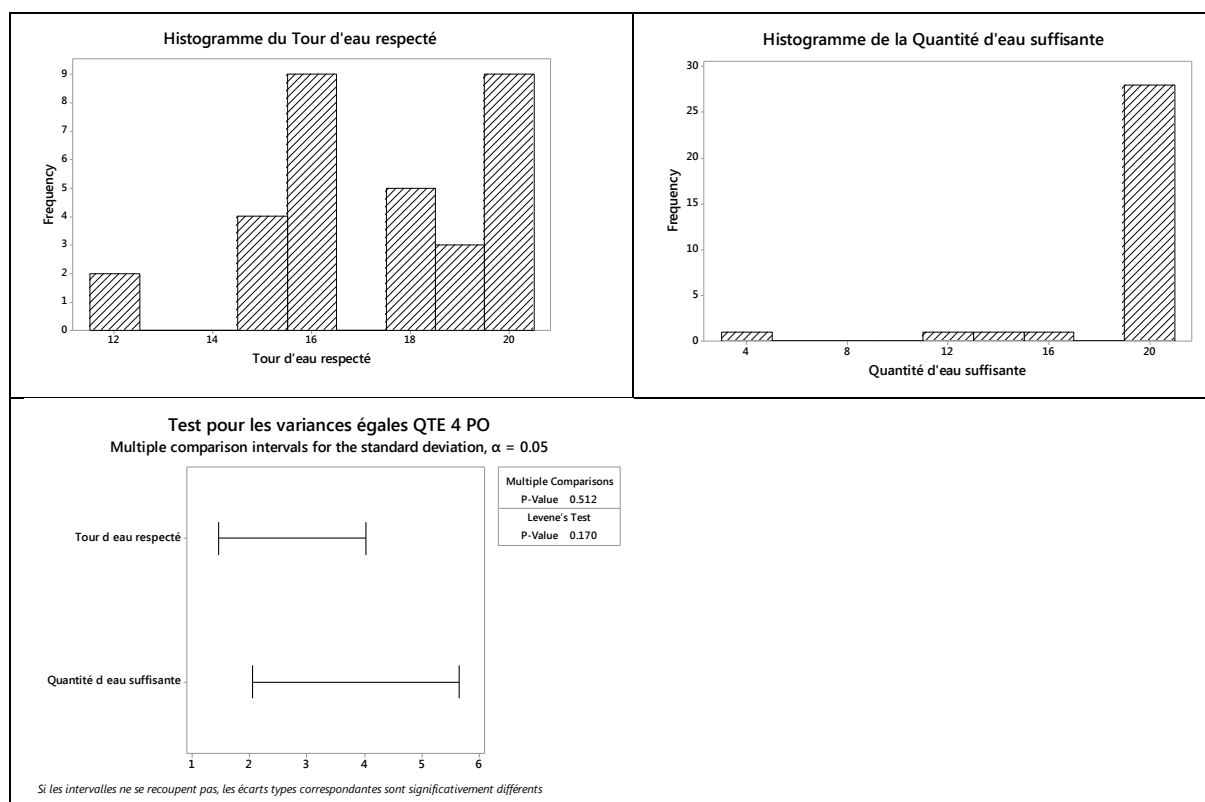
2 outliers (1) ont été supprimés dans le Kit 3. En effet, les paysans qui ont donné 1 à ce kit justifie cela par son entretien difficile. Bien que d'autres paysans aient souligné le même problème, ils ont affirmé que ce kit peut motiver à l'entretien des drains par l'affectation d'une note élevée. L'omission de ces outliers dans le traitement a permis de vérifier la condition des variances égales requise pour faire le test de Mann-Whitney.

Annexe 14.9. QTE 4: Pensez-vous que le fait que vous ne receviez pas l'eau au bon moment et en quantité suffisante vous décourage à l'entretien des drains ?

Strate des paysans ordinaires (PO)

Statistiques descriptives pour QTE 4 PO

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
Tour d'eau respecté	17.344	2.336	5.459	16.000	18.000	20.000
Quantité d'eau suffisante	18.906	3.286	10.797	20.000	20.000	20.000

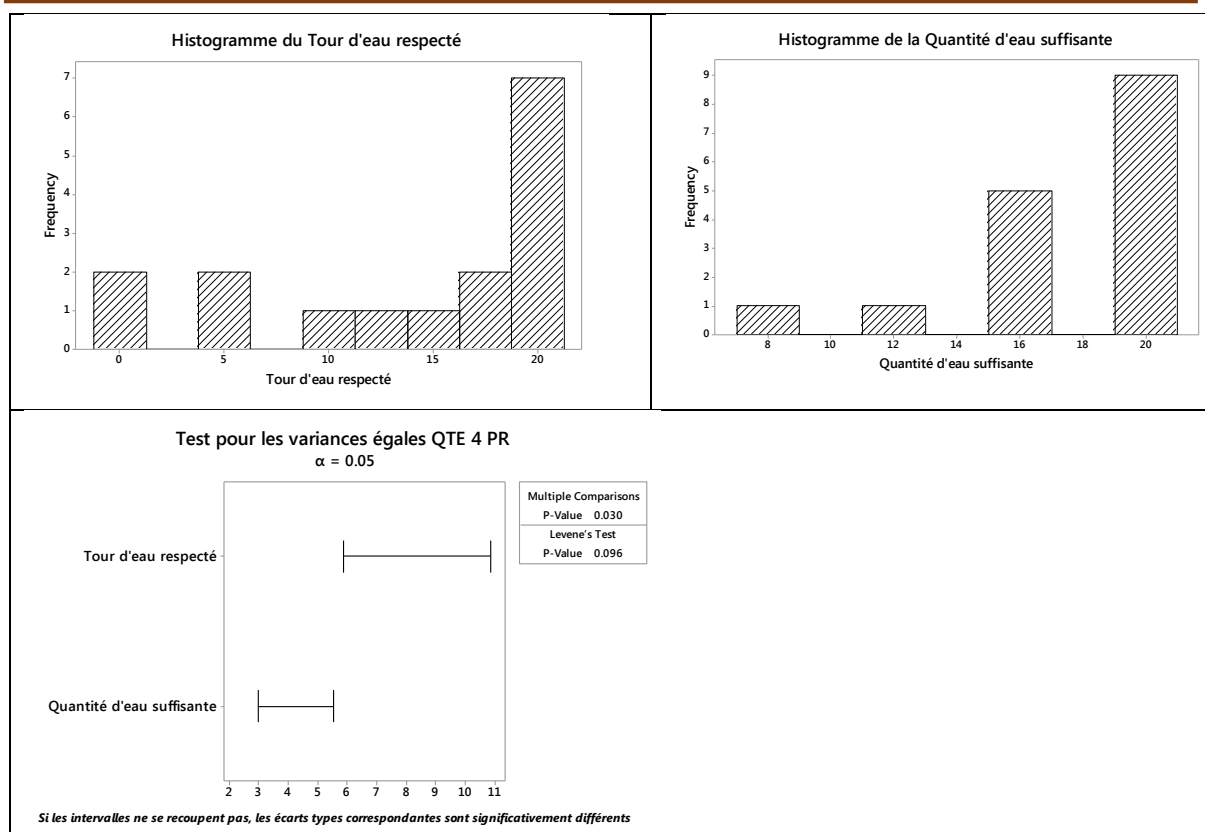


Strate des paysans responsables (PR)

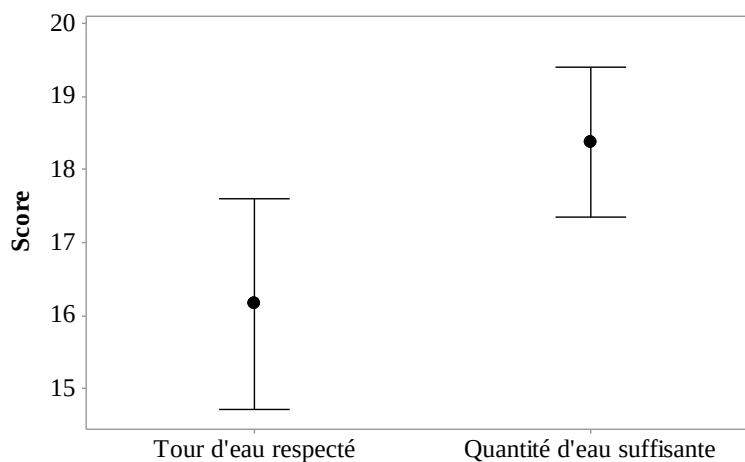
Statistiques descriptives pour QTE 4 PR

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
Tour d'eau respecté	13.81	7.49	56.03	5.25	18.00	20.00
Quantité d'eau suffisante	17.313	3.790	14.363	15.250	20.000	20.000

La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)



Graphes des IC des moyennes à 95% de QTE 4 (PO et PR)

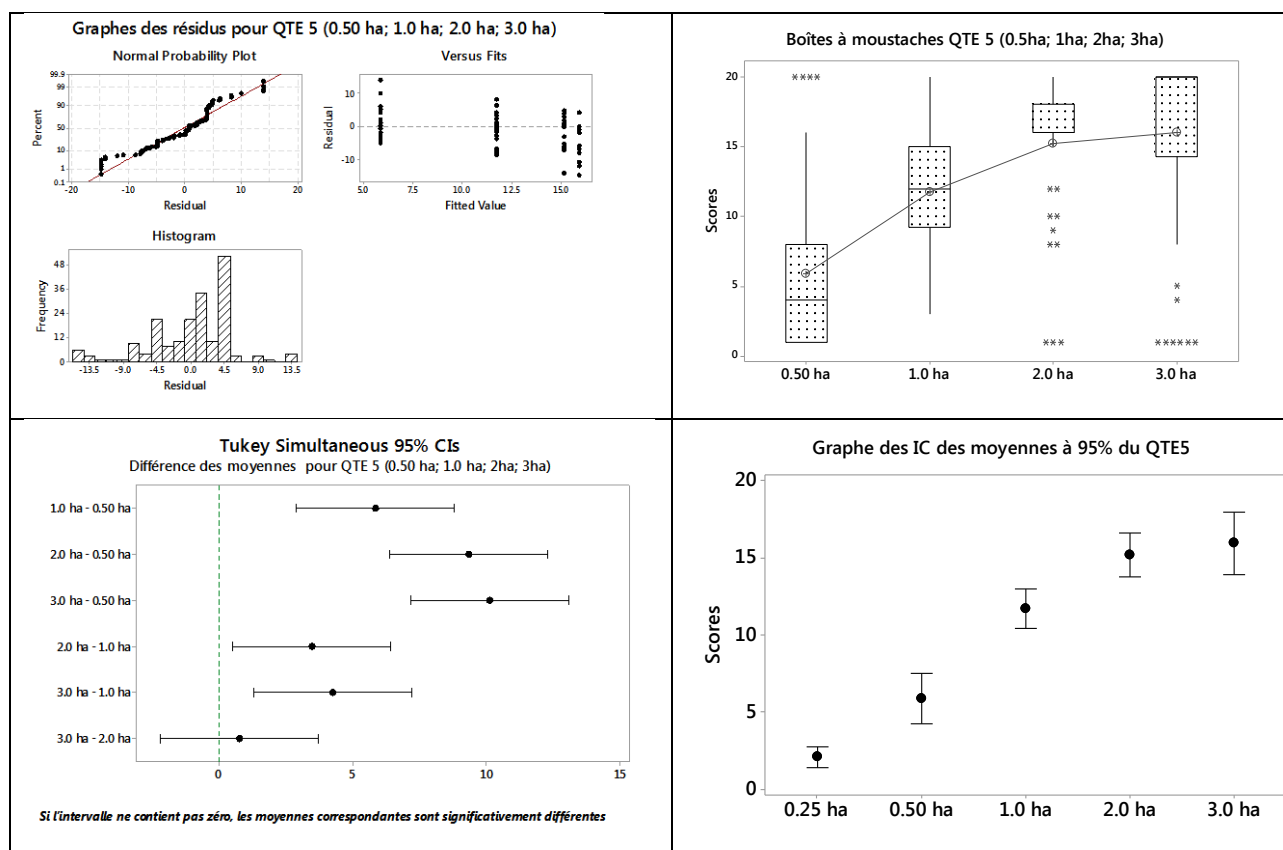


Annexe 14.10. QTE5: Quelle taille d'exploitation à vous attribuer serait la plus motivante pour l'entretien de vos drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 5

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
0.25 ha	2.125	2.247	5.048	1.000	1.000	2.000
0.50 ha	5.896	5.646	31.883	1.000	4.000	8.000
1.0 ha	11.750	4.475	20.021	9.250	12.000	15.000
2.0 ha	15.208	4.816	23.190	16.000	16.000	18.000
3.0 ha	15.98	7.02	49.21	14.25	20.00	20.00

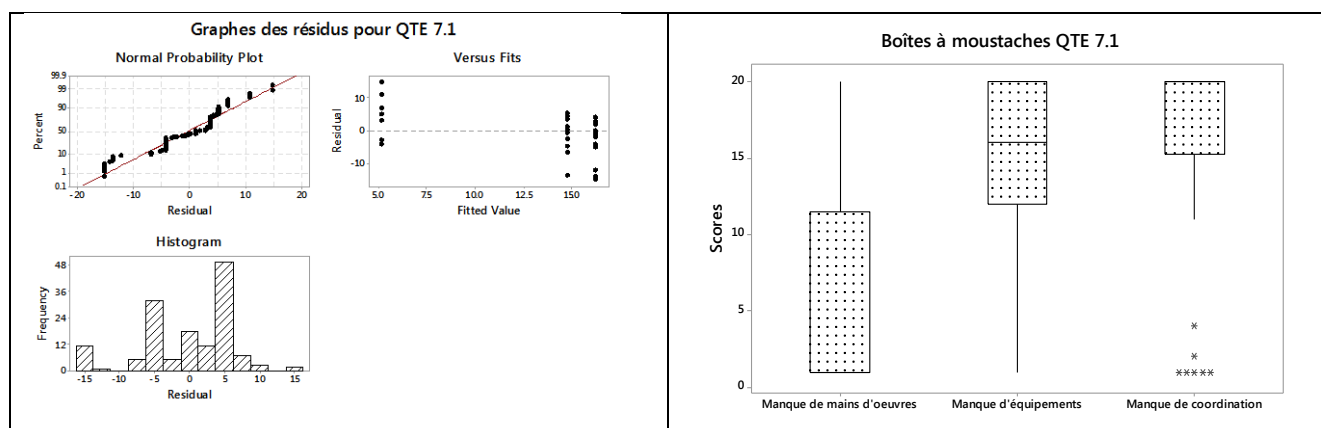
La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)



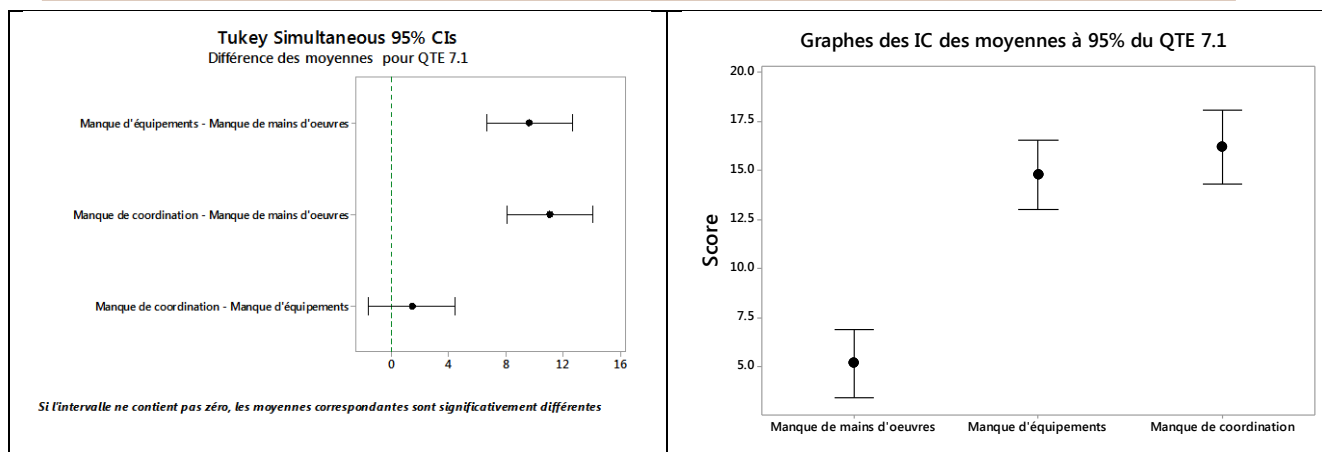
Annexe 14.11. QTE7.1: Parmi les problèmes ci-dessous, lesquels vous démotivent pour l'entretien des drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 7.1

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
Manque de mains d'œuvres	5.188	6.038	36.453	1.000	1.000	11.500
Manque d'équipements	14.813	6.048	36.581	12.000	16.000	20.000
Manque de coordination	16.229	6.527	42.606	15.250	20.000	20.000



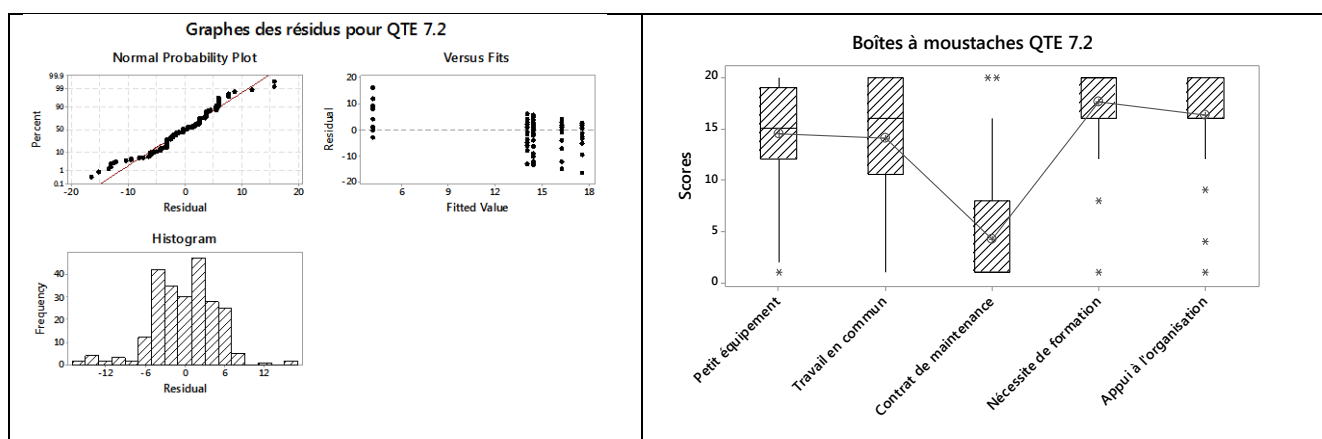
La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)



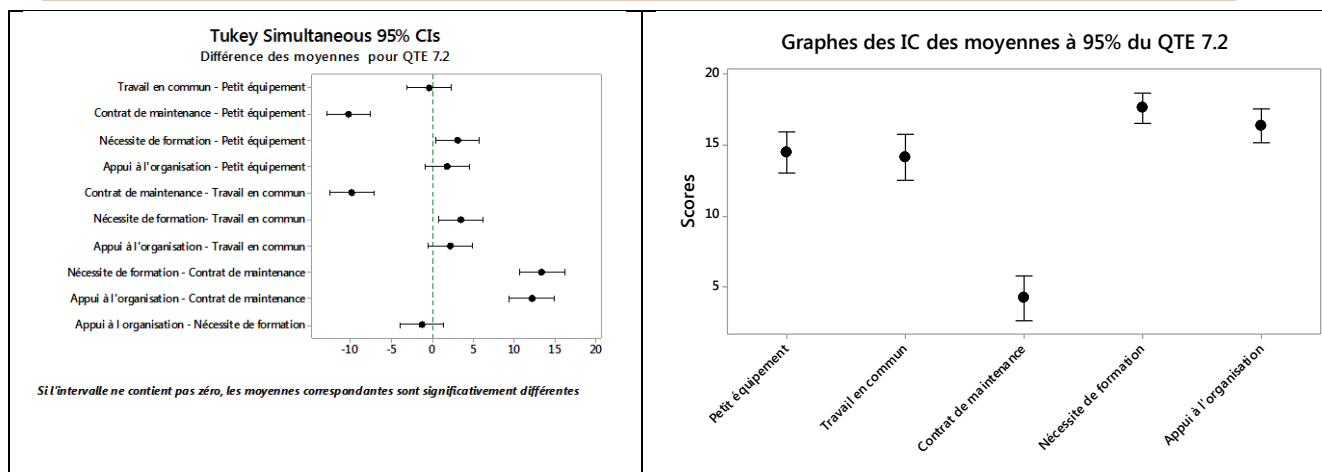
Annexe 14.12. QTE7.2: Parmi les solutions ci-dessous, lesquelles vous trouvez appropriées au problème de l'entretien des drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 7.2

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
Petit équipement	14.479	4.998	24.978	12.000	15.000	19.000
Travail en commun	14.083	5.573	31.057	10.500	16.000	20.000
Contrat de maintenance	4.208	5.379	28.934	1.000	1.000	8.000
Nécessite de formation	17.563	3.747	14.039	16.000	20.000	20.000
Appui à l'organisation	16.292	4.074	16.594	16.000	16.000	20.000



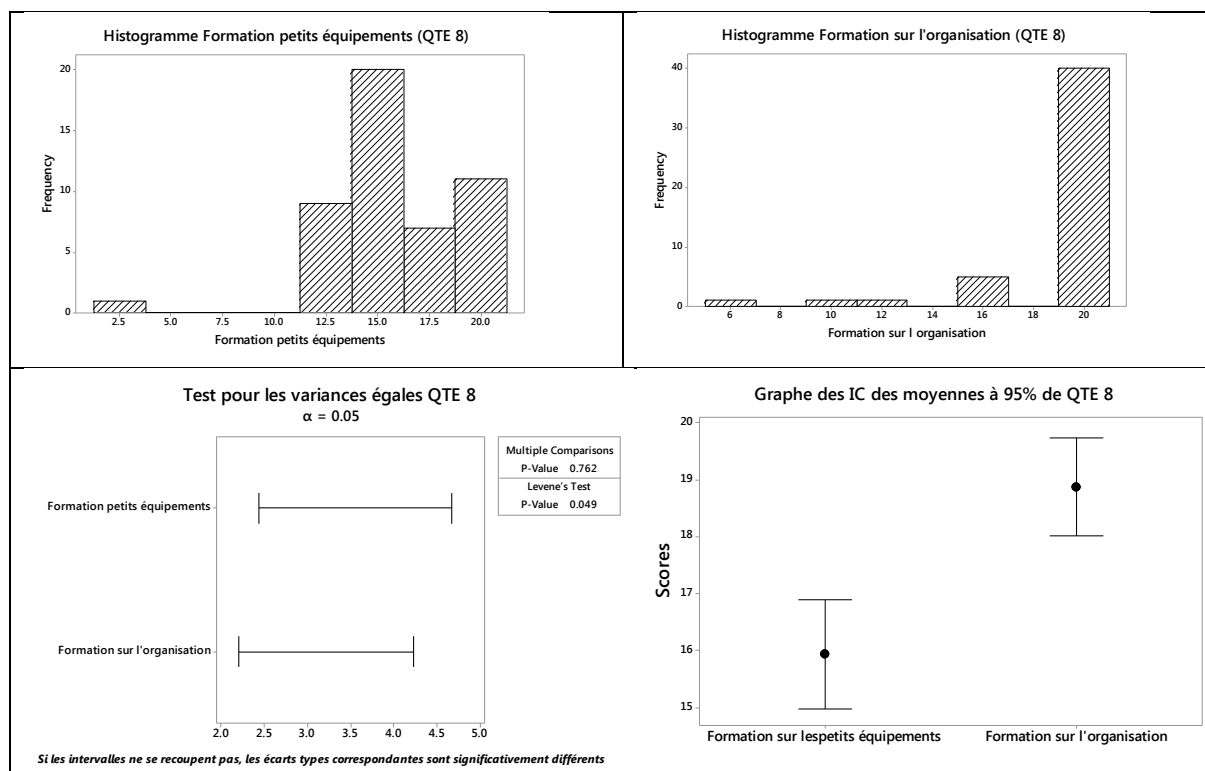
La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)



Annexe 14.13. QTE8 : Quel thème de formation vous semble utile pour vous aider efficacement à entretenir les drains ?

Statistiques descriptives pour QTE 8

Variable	Moyenne	Ecart type	Variance	Q1	Médiane	Q3
Formation sur les petits équipements	15.938	3.297	10.868	15.000	16.000	18.000
Formation sur l'organisation	18.875	2.980	8.878	20.000	20.000	20.000

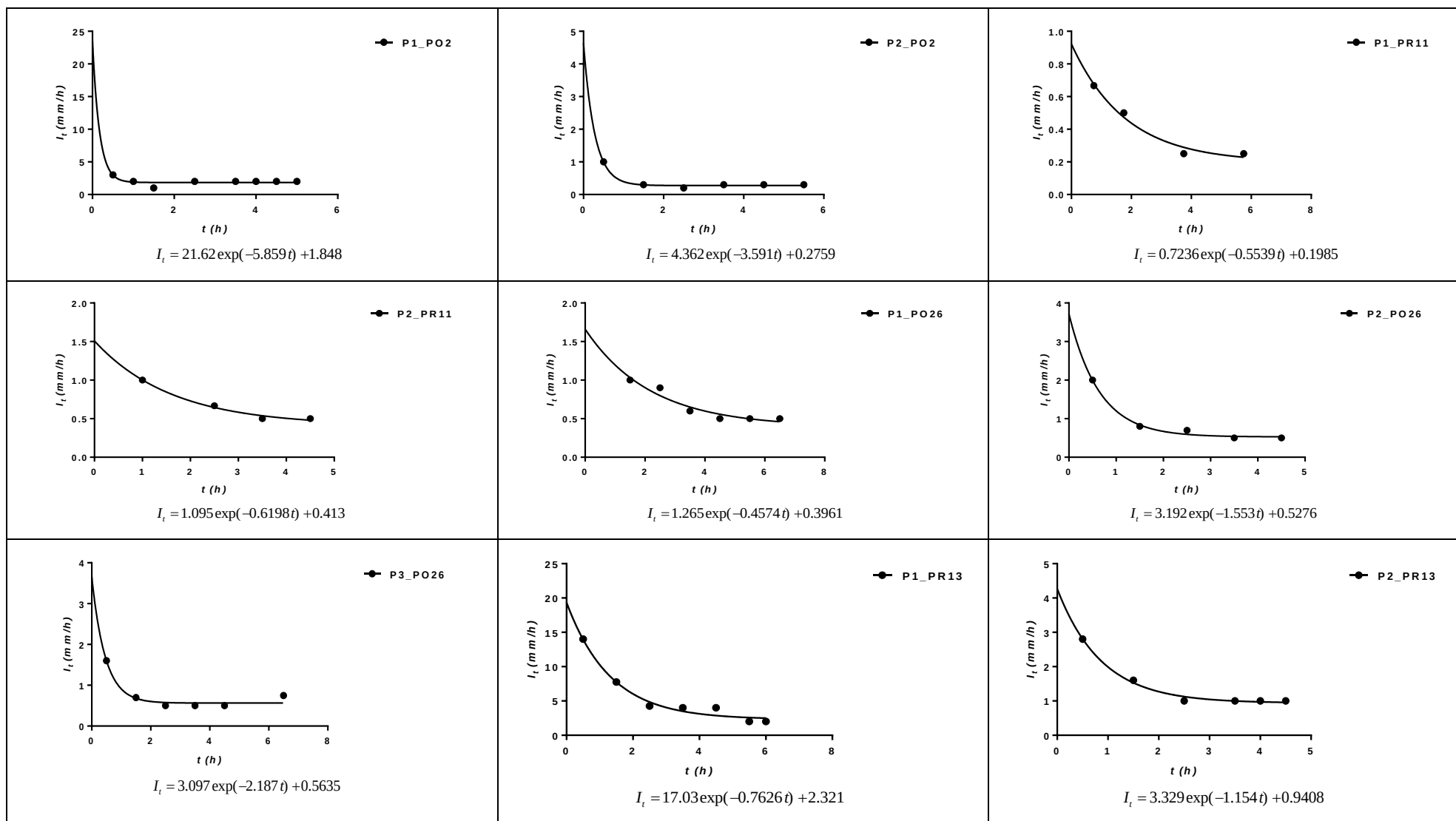


**La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs -
Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)**

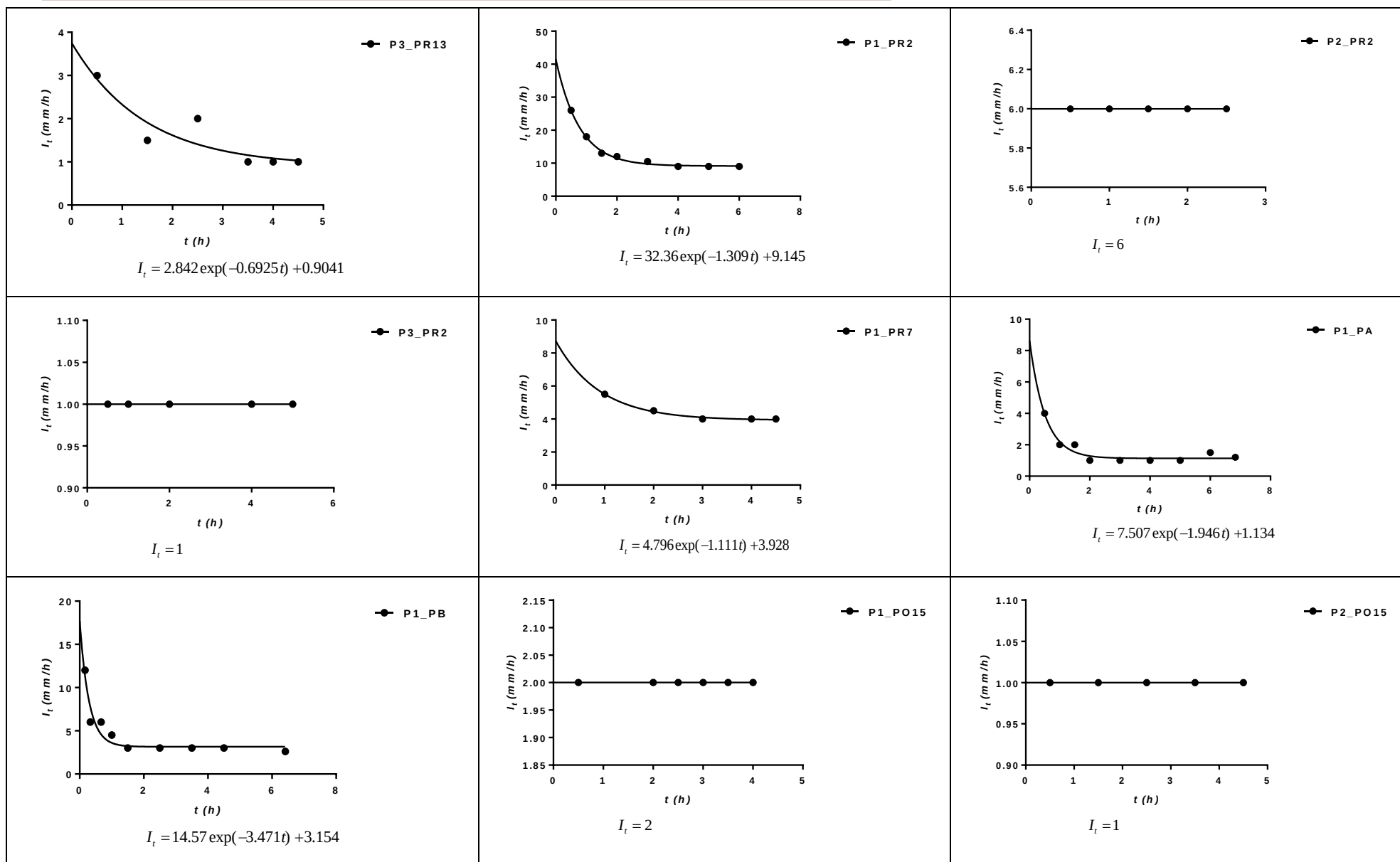
**O. Annexe 15 : Paramètres de la régression non linéaire des données de perméabilité
du sol à l'intervalle de confiance de 95%**

Secteur	Code Paysan	Point	Yo	K	Yo- Plateau	Plateau	R ²	P-value
1	PO2	P1_PO2	23.46	5.859	21.62	1.848	0.5758	<0.0001
		P2_PO2	4.638	3.591	4.362	0.2759	0.9827	0.0069
	PR11	P1_PR11	0.9221	0.5539	0.7236	0.1985	0.9775	0.4825
		P2_PR11	1.508	0.6198	1.095	0.413	0.9863	0.2558
	PO26	P1_PO26	1.661	0.4574	1.265	0.3961	0.9261	0.4124
		P2_PO26	3.72	1.553	3.192	0.5276	0.9902	0.0374
		P3_PO26	3.661	2.187	3.097	0.5635	0.9459	0.0577
	PR13	P1_PR13	19.35	0.7626	17.03	2.321	0.9771	0.2699
		P2_PR13	4.27	1.154	3.329	0.9408	0.9912	0.2384
		P3_PR13	3.746	0.6925	2.842	0.9041	0.8259	0.5081
	PR2	P1_PR2	41.5	1.309	32.36	9.145	0.9943	0.9292
		P2_PR2	6	~ 0.6667	0	6	1	
		P3_PR2	1	~ 0.5	0	1	1	
2	PR7	P1_PR7	8.724	1.111	4.796	3.928	0.9915	0.2552
	PA	P1_PA	8.641	1.946	7.507	1.134	0.93	0.1367
	PB	P1_PB	17.72	3.471	14.57	3.154	0.9082	0.5262
	PO15	P1_PO15	2	~ 0.3636	0	2	1	
		P2_PO15	1	~ 0.4	0	1	1	
		P3_PO15	2	~ 0.4	0	2	1	
	PO16	P1_PO16	3	~ 0.4	0	3	1	
		P2_PO16	3.239	0.2737	1.742	1.496	0.9417	0.7598
		P3_PO16	1.02	1.083	0.5254	0.4947	0.9991	0.3337
	PR16	P1_PR16	1.041	1.135	0.5536	0.4878	0.9909	0.3492
		P2_PR16	2.09	1.154	1.11	0.9803	0.9912	0.2384
		P3_PR16	8.742	2.85	6.766	1.976	0.9967	0.0859

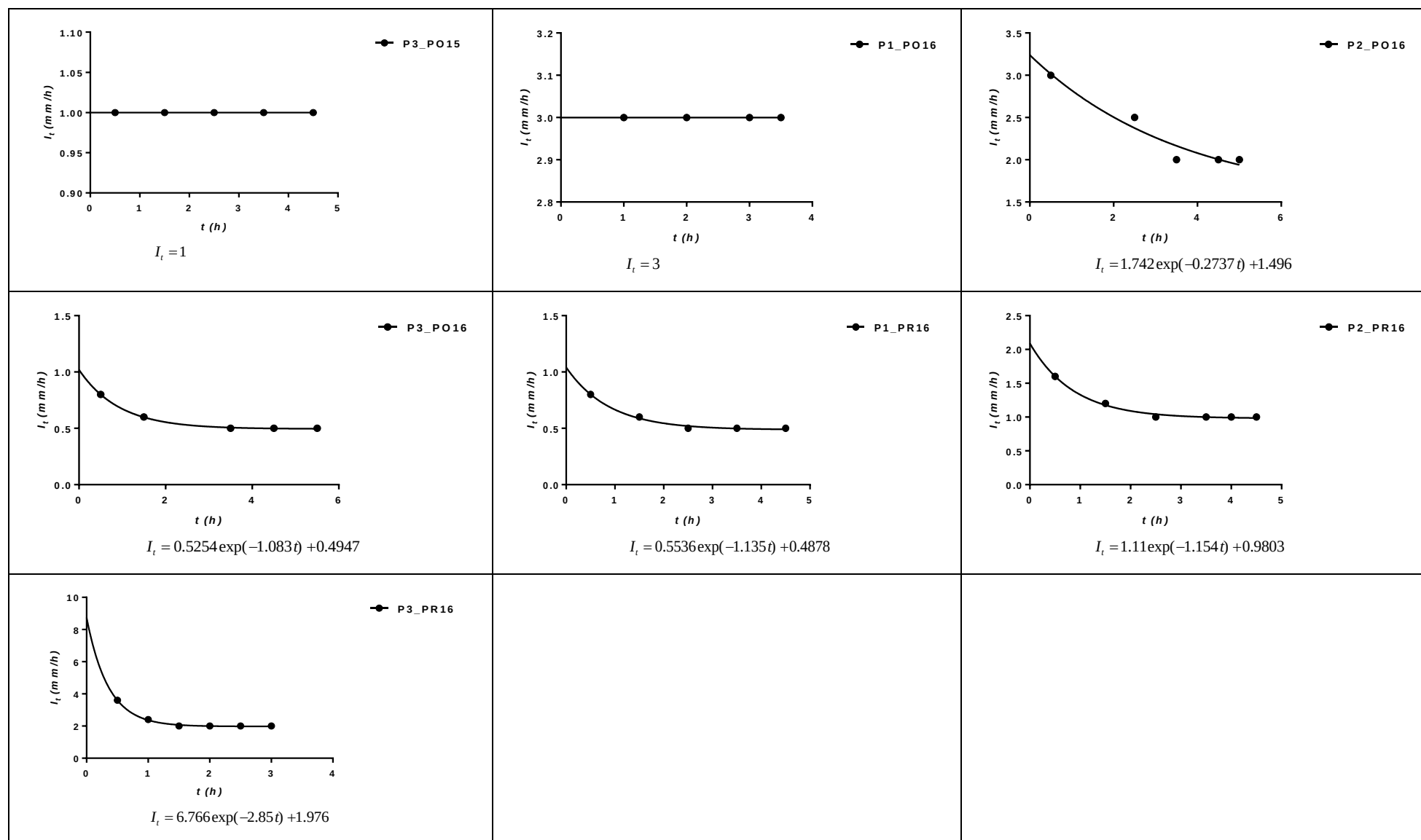
P. Annexe 16 : Courbes et équations d'infiltration du sol



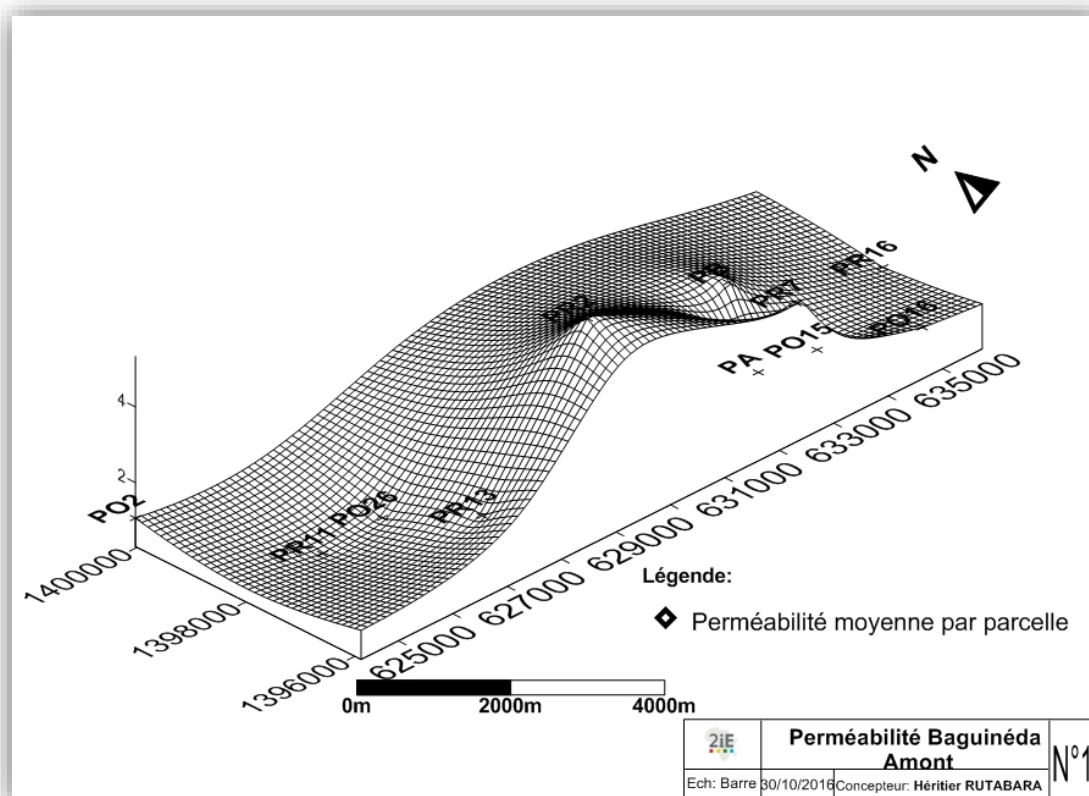
La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs -Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)



La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs -Etude de cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali)

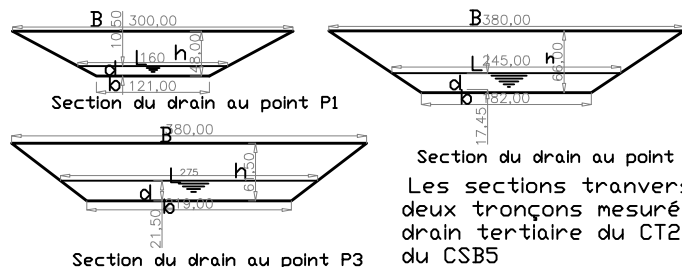


Q. Annexe 17 : Variabilité spatiale de la perméabilité du sol à Baguinéda Amont

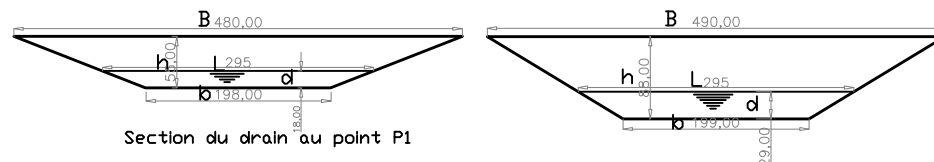


Le pic correspond à la perméabilité dans les zones du CSK 16 et CSK 17 (Secteur 1). Cette zone est la plus perméable du périmètre.

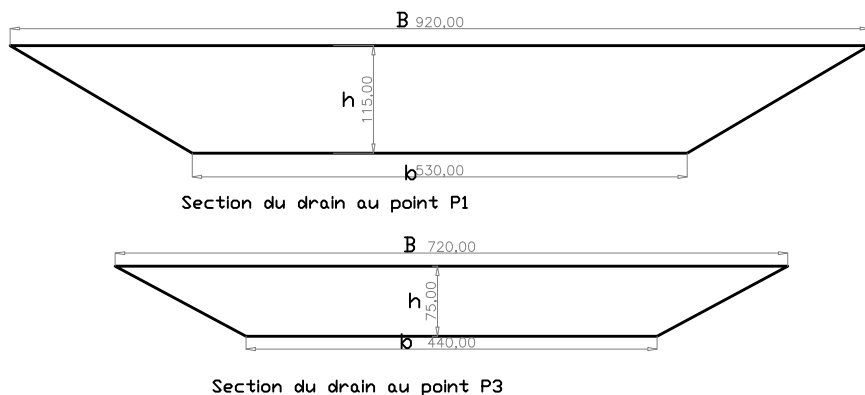
R. Annexe 18 : Les profils en travers de tronçons mesurés de drains



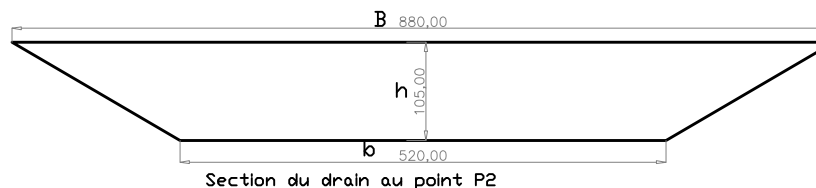
Les sections transversales des deux tronçons mesurés dans le drain tertiaire du CT2 droite du CSB5



Les sections transversales du tronçon mesuré dans le drain tertiaire du CT10 droite du CSB4



Les sections transversales des deux tronçons mesurés dans le drain secondaire Drain 3b



ANNOTATIONS

b : base du canal
d : tirant d'eau
h : profondeur du canal
L : largeur miroir
B : largeur au plafond

2iE

Profils en travers des tronçons des drains mesurés à Baguinéda

1/100



21.11.2016

Héritier RUTABARA

N°1