



INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'EAU, DE L'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Spécialité : Eau

Présentée et soutenue publiquement

Par

Mr Epolyste ADJEFFA

Le 08 Janvier 2015

Réf : 2iE/2015-01

Titre :

**Incidence du fonctionnement hydraulique et pédologique des périmètres irrigués sur la
production agricole :**

Cas du périmètre irrigué de Gouran dans la vallée du Sourou au Burkina Faso

JURY

M. DA Dapola Evariste C., Professeur Titulaire, Université de Ouagadougou

Rapporteur

M. SOME Léopold, Directeur de Recherche, INERA Burkina Faso

Rapporteur

M. ZOMBRE N. Prosper, Professeur Titulaire, Université de Ouagadougou

Examineur

M. AMBOUTA Karimou J.M., Professeur Titulaire, Université Abdou Moumouni

Examineur

M. YACOUBA Hamma, Maître de Conférences, 2iE Burkina Faso

Directeur de thèse

Laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau (LEAH)

Remerciements

C'est avec un grand plaisir que je voudrais, à travers ces lignes, adresser mes plus sincères remerciements à toutes les personnes qui, d'une quelconque manière, m'ont aidé dans la réalisation de ce travail de recherche. Je voudrais commencer ces remerciements par Monsieur Hama YACOUBA qui a accepté de m'accueillir dans le laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau (LEAH) dont il est le Responsable et aussi pour avoir assuré la direction de ce travail. Qu'il veuille bien accepter mes remerciements pour sa confiance, ses conseils, ses orientations et sa disponibilité tout le long de ces trois années de recherche.

Ensuite mes sincères reconnaissances à Monsieur Prosper N. ZOMBRE, pour sa clairvoyance, ses encouragements et ses conseils pour avoir consacré de son temps pour participer au suivi de ce travail.

Je n'oublie pas Monsieur Harouna KARAMBIRI qui, sans son soutien à ma candidature je n'aurais peut-être pas goûté au fruit défendu de la recherche. Ses conseils et sa disponibilité administrative ne m'ont pas fait défaut.

Je remercie sincèrement les membres du jury qui ont bien voulu examiner mon travail.

Je salue les assauts répétés d'un infatigable débateur d'idée : Monsieur Hamado SAWADOGO, responsable de recherche au CNRST. Sans ses assauts, j'aurais peut-être moins réfléchi et pris plus de vacances.

Merci à monsieur le Directeur Général de l'AMVS pour m'avoir donné une autorisation de recherche sur le site.

Sans la base arrière de NIASSAN, tenue par Messieurs Adama BORO, responsable de la formation et la production à l'AMVS et Ido SAWADOGO, Technicien de l'INERA à DI, je n'aurais jamais pu approcher les aménagements du Sourou en général et le périmètre irrigué gravitaire de Gouran en particulier.

Je pense à la coopération française pour son soutien financier et à monsieur BADO pour m'avoir accompagné sur le terrain pour le sondage pédologique.

Tous ceux qui de loin ou de près ont œuvré pour l'élaboration de cette thèse sont reconnus et je les en remercie vivement : Messieurs Koina RODOUMTA, DOTO Chaim Vivien, Barnabas KAYALTO, NGARY Filina, Haoua GATASSIA.

Enfin je loue le courage de ma famille qui a su supporter mon absence répétée pour cette thèse : mon épouse KAZIRI Adeline, mes enfants, Dafoko ADJEFFA Kevin, Sanda ADJEFFA Elyse, Minda ADJEFFA Anita et Livounsiahaoura ADJEFFA Vanessa.

Merci à papa et maman pour tout.

Table des matières

Remerciements	i
Table des matières	ii
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	viii
Liste des photos	ix
Sigles et abréviations	x
Résumé	xi
Abstract	xii
Introduction générale	1
Première partie : Revue bibliographique et généralités de la zone d'étude	4
Chapitre I : Etat de l'irrigation dans les périmètres irrigués	5
I.1 Irrigation de surface	9
I.2 Irrigation par aspersion	9
I.3 Irrigation localisée	10
I.4 Synthèse sur l'irrigation en Afrique (en chiffre)	10
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude	12
II.1 Localisation de la zone d'étude	12
II.2 Milieu physique	14
II.2.1 Hydrographie	14
II.2.2 Climat	14
II.2.3 Relief et sols	16
II.2.4 Végétation	17
II.3 Milieu humain et activités économiques	17
II.3.1 Population	17
II.3.2 Agriculture et élevage	18

II.3.3 Pêche et faune	19
II.4 Présentation des options d'Aménagements de la Vallée du Sourou	19
II.4.1 Les périmètres irrigués par gravité	21
II.4.2 Les périmètres irrigués par aspersion	22
II.4.3 Un périmètre de type semi-californien	23
II.5 Mobilisation de ressources en eau d'irrigation	24
Chapitre III : Méthodologie générale de l'étude	26
III.1 Présentation du périmètre irrigué gravitaire de 540 ha de Gouran	26
III.2. Mode de fonctionnement hydraulique du périmètre irrigué de Gouran	28
III.2.1 Spéculations dans le périmètre de Gouran	28
III.2.2 Besoin en eau	28
III.2.3 Besoin en fertilisant	28
III.2.4 Les sols de riziculture irriguée	29
III.3 Approche méthodologique	29
Deuxième partie : La gouvernance et la maintenance agricole	31
Chapitre IV: La gouvernance agricole dans le périmètre irrigué de Gouran	32
IV.1 Méthode d'étude	32
IV.1.2 Phase préparatoire	32
IV.1.3 La recherche documentaire	32
IV.1.4 Les travaux de terrain	32
IV.1.5 Le traitement et l'analyse des données	33
IV.2 Résultats et Discussion	33
IV.2.1 Identification des acteurs et leurs attributions	33
IV.2.2 Indicateur de Performance sociale et durabilité	35
Chapitre V : La Maintenance agricole dans le périmètre irrigué de Gouran	37
V.1 Matériel et méthode	37
V.1.1 Matériels	37
V.1.2 Méthodes	37

V.1.2.1 Formulation des indicateurs de diagnostic	38
V.1.2.2 Choix des indicateurs de performance du système d'irrigation	39
V.1.2.3 Traitement des données	40
V. 2 Résultats	40
V.2.1 Constats dans le chenal d'amenée	40
V.2.2 Constats au niveau de la Digue de protection	41
V.2.3 Constats au niveau de la Station de pompage	41
V.2.4 Constats au niveau du canal principal	42
V.2.5 Constats au niveau des canaux secondaires	43
V.2.6 Constats au niveau des canaux tertiaires et quaternaires	44
V.2.7 Constats relevés au niveau des ouvrages de franchissement	46
V.2.8 Constats relevés sur le réseau d'assainissement	47
V.2.9 Constats relevés sur le réseau de circulation	47
V.2.10 Constats relevés sur le nivellement des parcelles	48
V.3 Difficultés actuelles dans la distribution d'eau d'irrigation	48
V.3.1 Difficultés dans la distribution d'eau par des modules	49
V.3.2 Difficultés dans le remplissage du canal principal	49
V.3.3 Difficultés dans le remplissage des canaux secondaires	50
V.3.4 Répartition du débit au niveau du canal tertiaire	51
V.3.5 Les canevas hydrauliques de remplissage de canaux	52
V.3.6 Insuffisances des débits des stations de pompage	52
V.3.7 Absence d'une programmation des ouvertures des prises modulées	53
V.3.8 Prélèvements anarchiques d'eau d'irrigation par siphonage	54
V.3.9 Renforcement du débit de la prise modulée du tertiaire	55
V.3.10 Conséquence du prélèvement anarchique	58
V.3.11 Facteurs d'ordre organisationnel	58
V.4 Résultats des indicateurs de diagnostic et de performances	59
V.5 Synthèse de la réaction des acteurs	62

V.5.1 Synthèse des points de vue des producteurs	62
V.5.2 Points de vue des coopératives	63
V.5.3 Point de vue des Conseillers agricoles et de l'AMVS	63
V.5.4 Points de vue de l'appui Technique (AMVS)	64
V.6 Discussion	64
Troisième partie : Pédologie, Eau et Fertilité	68
Chapitre VI : Etude Pédologique du périmètre irrigué de Gouran	69
VI.1 Méthode d'étude	69
VI.1.1 Collecte et synthèse des données de base	69
VI.1.2.Travaux de terrain	69
VI.1.3 Description des profils pédologiques	70
VI.1.4 Echantillonnage	70
VI.1.5 Mesure de vitesse d'infiltration	70
VI.1.6 Travaux de laboratoire	71
VI.1.7 Évaluation de la fertilité des sols	71
VI.1.8 Évaluation de la RU dans les sols du périmètre	72
VI.2 Traitement des données	72
VI.3 Résultats et Discussions	73
VI.3.1 Tracé du Transect	73
VI.3.2 Caractéristiques morphologiques et analytiques des sols	74
VI.3.3 Infiltrabilité des sols	89
VI.3.4 Evaluation de la RU dans les sols du Périmètre	90
VI.3.5 Etat de fertilité des sols du Périmètre	91
Chapitre VII : Impact de l'eau d'irrigation et de la nappe sur la production	92
VII.1 Méthode d'étude	92
VII.1.1 Instrumentation	92
VII.2 Eude de la qualité de l'eau d'irrigation du périmètre de Gouran	93
VII.2.1 Mode opératoire	94

VII.2.2 Le bilan ionique de l'eau	94
VII.2.3 Méthodes de calcul des différents ions	94
VII.3 Résultats et discussions	96
VII.3.1 Résultat de dépouillement de relevés piézométriques	96
VII.3.2. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau d'irrigation	98
VII.3.3 Relation entre Eau d'irrigation-Sol et type de spéculatation	99
Chapitre VIII : Mode de gestion de la fertilité et essai de fertilisation	101
VIII.1 Enquête agricole sur le mode de gestion de fertilité dans le périmètre	101
VIII.2. Traitement et analyse statistique des données	101
VIII.3 Essai de fertilité	101
VIII.3.1 Dispositif expérimental	101
VIII.3.2 Exécution des travaux	103
VIII.3.3 Irrigation	103
VII.3.4 Apport des fertilisants	103
VIII.3.5 Désherbage	103
VIII.3.6 Suivi des parcelles	103
VIII.3.7 Traitement et analyse statistique des données	104
VIII.4 Résultats et Discussions des modes de gestion de la fertilité	104
VIII.4.1 Résultats	104
VIII.4.2 Discussion de l'enquête agricole sur le mode de gestion de la fertilité	107
VIII.5 Essai de fertilité	109
VIII.5.1 Résultats	109
VIII.5.2 Discussion de l'essai de fertilité	110
Conclusion Générale et perspectives	114
Références bibliographiques	116
Annexes	126

Liste des tableaux

Tableau 1 : Distribution régionale des techniques d'irrigation en maîtrise totale	11
Tableau 2: Les périmètres aménagés de la vallée du Sourou	21
Tableau 3 : Répartitions des acteurs et leurs attributions	33
Tableau 4: Évaluation qualitative d'indicateurs sociaux et de durabilité du périmètre	35
Tableau 5: indicateurs de diagnostic obtenus.	60
Tableau 6: Comparaison des indicateurs de diagnostic et de performance avec les Valeurs de référence de PMI-BF/IMMI	61
Tableau 7: Normes des classes de fertilité des sols	72
Tableau 8: Représentativité des différents domaines pédologiques	74
Tableau 9: Résultats des analyses d'échantillons P1(FLTC)	75
Tableau 10: Résultats des analyses d'échantillons du profil P2 (BEH)	78
Tableau 11 : Résultats des analyses d'échantillons du profil P3 (HPGS).....	80
Tableau 12 : Résultats des analyses d'échantillons de profil P4 (BEHV)	83
Tableau 13 : Résultats des analyses d'échantillons de profil P5 (VV)	85
Tableau 14: Résultats des analyses d'échantillons de profil P6 (BEF).....	87
Tableau 15: Vitesse finale d'infiltration des sols du périmètre	89
Tableau 16: Paramètres physico-chimique de l'eau d'irrigation du périmètre.....	98
Tableau 17: Rapport entre les besoins en eau, les sols et la ressource disponibles	100
Tableau 18: Type de fumure appliquée.	104
Tableau 19: Type de matière organique (MO) appliquée.....	104
Tableau 20: Mode d'utilisation d'urée	105
Tableau 21: Mode d'utilisation de la fumure organique	105
Tableau 22: Effet de l'expérience en riziculture sur la gestion des résidus de culture	106
Tableau 23: Solution paysanne pour la restauration de la fertilité des sols.....	107
Tableau 24: Rendement paddy en pratique paysanne par variété en 2013.	107
Tableau 25: Effets des traitements sur les rendements du riz.	110

Liste des figures

Figure 1 : Carte de présentation de la vallée du Sourou (AMVS, 2010)	13
Figure 2: Pluviosité annuelle 2001-2013 de la vallée du Sourou	14
Figure 3: Pluviosité annuelle de la vallée du Sourou en 2013	15
Figure 4: Température mensuelle mini et maxi de la vallée du Sourou en 2013.....	16
Figure 5: Carte de présentation des Aménagements de la Vallée du Sourou	20
Figure 6: Schéma du fonctionnement du fleuve Sourou.....	25
Figure 7: Carte de localisation du périmètre Irrigué de Gouran (AMVS, 2010).....	27
Figure 8: Schéma montrant le fonctionnement du module déversoir	57
Figure 9: Schéma montrant le fonctionnement normal du module.....	57
Figure 10: Schéma du principe de fonctionnement d'un module à deux masques.....	57
Figure 11: Schéma expliquant le cercle vicieux du prélèvement anarchique de l'eau	59
Figure 12: Distribution des sols selon un transect sud-nord du périmètre de Gouran.....	73
Figure 13: Variation de la RU dans les sols du périmètre	90
Figure 14: Etat de fertilité des sols	91
Figure 15: Fluctuations du niveau de la nappe dans les piézomètres.	96
Figure 16: Relation entre eau d'irrigation et sol	99
Figure 17: Dispositif d'essai de fertilisation	102

Liste des photos

Photo 1: canal 1 ^{aire} (Adjeffa, 21/02/2012).....	22
Photo 2 : rampes (Adjeffa, 21/02/2012)	23
Photo 3: conduites en acier (Adjeffa 21/02/2012)	23
Photo 4: ouvrage de contrôle des sorties (Adjeffa, 21/02/2012)	24
Photo 5: coté amont d'un chenal sur le Sourou (Adjeffa, 12/10/2013)	40
Photo 6: dégradation du remblai de la digue (Adjeffa, 05/04/2013)	41
Photo 7: désordre dans le local (Adjeffa, 12/10/2013)	42
photo 8 : Batardeau, nénuphar sur le canal (Adjeffa, février 2013).....	43
Photo 9: panneau décroché (Adjeffa, février 2013).....	44
Photo 10: canal tertiaire en terre (Adjeffa, 12/10/2013)	45
Photo 11 : flasque placé à $\frac{1}{4}$ de la loge pour le prélèvement de $\frac{1}{4}$ du débit transité	46
Photo 12: Puisard d'un passage rempli de roches (Adjeffa, février 2013)	47
Photo 13 : débordement des eaux de drainage sur la piste (Adjeffa, 12/10/2013)	48
Photo 14: canal principal dotée de prises modulées (Adjeffa, 12/10/2013)	49
Photo 15: amplitude de marnage d'un module xx2 (Adjeffa, 12/10/2013)	50
Photo 16 : prise modulée alimentant le canal 2 ^{ndaire} (Adjeffa, février 2013)	51
Photo 17: ouvrage de répartition au niveau du canal tertiaire Adjeffa,12/10/2013).....	51
Photo 18: moteur diesel abandonne au niveau de la station de pompage au bloc C.....	52
Photo 19: niveau d'eau élevé dans le canal secondaire (Adjeffa, 21/12/2012)	54
Photo 20: siphonage d'eau dans le laire (Adjeffa, 21/12/2012).....	55
Photo 21: le renforcement du débit du module (Adjeffa, 21/03/2012).....	55
Photo 22 : module sous-alimenté fonctionnant en déversoir (Adjeffa, 21/10/2012).....	56
Photo 23: délimitation des horizons (Adjeffa, février 2013)	70
Photo 24: mesure de la vitesse d'infiltration (Adjeffa, février 2013)	71
Photo 25 : parcelle équipée d'un piézomètre (Adjeffa, février 2013).	93

Sigles et abréviations

AMVS : Autorité de Mise en Valeur de la vallée du Sourou

BEF: Brun eutrophe ferruginisé

BEH : Brun eutrophe hydromorphe

BEHV: Brun eutrophe hydromorphe vertique

DAPVA : Direction de l'Appui à la Production et à la Valorisation Agricole

FAO: Food and agriculture organization of the United Nations

FKR: Farakoba Riz

FLTC: Ferrugineux tropicaux lessivés avec des taches et concrétions

GIFS: Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols

HPGS: Hydromorphe peu humifères avec pseudo gley de surface

IFCD: Centre International pour la Fertilité des sols et le Développement Agricole

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

KCl: Chlorure de Potassium

MAHRH: Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques

MCA: Millennium Challenge Agricultural

MO : Matière Organique

NERICA: Nouveau Riz pour l'Afrique

NPK : Azote, Phosphore, Potassium

OP :Organisation paysanne

RU: Réserve utile

TSP: Triple Super Phosphate

VV: Vertisols vertiques

Résumé

Le périmètre irrigué de Gouran (540 ha) est situé à proximité du village Gouran, à environ 220 km au nord-ouest de Ouagadougou au Burkina Faso. Il a été créé par l'Etat Burkinabé à travers l'Autorité de Mise en Valeur de la Vallée du Sourou (AMVS) en 2005. Malheureusement, ce périmètre est aujourd'hui peu performant à cause de la faible productivité. De 7 t/ha environ de paddy par campagne pendant les premières années après l'aménagement, les rendements sont passés à 4 t/ha dans les dernières années. Aujourd'hui, les agriculteurs utilisent fréquemment le terme de «baisse de fertilité de sol » pour expliquer la baisse de rendement dans le périmètre. Au regard de ce constat, la présente contribution a pour objectif d'approfondir les investigations sur la cause de la contreperformance du périmètre afin de proposer des solutions techniques durables. Ce qui permettra d'optimiser les rendements des cultures afin de garantir des revenus stables aux agriculteurs. De façon spécifique, il s'agit de : i) évaluer le niveau de fertilité actuel des sols du périmètre à travers une étude pédologique ; ii) diagnostiquer l'état de dégradation des infrastructures et la gouvernance agricole dans le périmètre ; iii) apprécier l'impact d'une nappe perchée sur la production ; iv) réaliser une enquête agricole et mettre en place des essais de fertilité pour cerner le meilleur traitement qui optimise les rendements. L'étude met en évidence six types de sol : les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions (FLTC), les Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes (BEH), les Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface (HPGS), les Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques (BEHV), les vertisols vertiques (VV) et les sols bruns eutrophes tropicaux ferruginisés (BEF). L'analyse des échantillons de ces sols montre une carence en phosphore (<30ppm) et en azote (< 1%). Le constat d'une mauvaise gestion de la fertilité caractérisée par un faible amendement en matière organique s'observe sur le périmètre. Des pratiques de siphonage d'eau d'irrigation bouleversent les tours d'eau et sont à l'origine de l'insatisfaction des besoins réels en eau des cultures par période. Le non-respect du calendrier cultural entraîne un pompage supplémentaire et varié. Ce qui augmente les charges d'exploitation. Le périmètre de Gouran connaît pendant la période des hautes eaux, un envahissement par les eaux du fleuve Sourou provoquant un engorgement temporaire des sols. L'analyse des relevés piézométriques de la nappe phréatique atteste que cela n'a pas un impact majeur sur le rendement des cultures.

Mots clés : *périmètre irrigué de Gouran, fertilité, sols, efficience, nappe phréatique*

Abstract

The irrigated area of Gouran (540 ha) is located near the village Gouran, about 220km northern west of Ouagadougou in Burkina Faso. It was created by the state Burkinabe through the Authority Enhancement of Sourou Valley (AMVS) in 2005. Unfortunately, this scope has become inefficient because of low productivity. 7 t / ha of paddy per year during the first years after the development, yields increased from 4 t / ha in the last years. Today, farmers frequently use the term "soil fertility decline" to explain the yield reduction in the scope. This corroborates the facts known. In view of this, this paper should deepen the investigations into the cause of the underperformance of the perimeter to provide sustainable technical solutions. This will maximize crop yields to ensure stable incomes for farmers. Specifically, these are : i) assess the current level of fertility of the soil perimeter through a soil survey; ii) diagnose the state of infrastructure degradation and agricultural governance in the perimeter ; iii) assess the impact of a perched water table on production ; iv) To an agricultural survey and establish fertility tests to determine the best treatment that optimizes yields. The study highlights six soil types: the tropical ferruginous soils leached stains and concretions (FLTC); brown eutrophic tropical hydromorphic soils (BEH); hydromorphic soils little humus pseudogley surface (hpgs) ; brown soils eutrophic tropical hydromorphic vertisols (BEHV) ; vertisols vertic (VV) and tropical eutrophic brown soils ferruginized (BEF). Analysis of samples of the soils shows a phosphorus deficiency (<30 ppm) and nitrogen (<1%). The finding of poor fertility management characterized by a low organic matter amendment is observed on the perimeter. Irrigation water siphoning practices disrupt water towers and are the cause of the dissatisfaction of the actual crop water requirements per period. Failure of the cropping calendar and varied causes additional pumping. This is increasing the operating expenses. The scope of Gouran known during the period of high water flooding through the waters of the river Sourou causing a temporary waterlogging. Analysis of piezometric readings of the groundwater aquifer confirms that it did not have a major impact on crop yields.

Keywords : *gravity irrigation scheme, fertility, soils, efficiency, groundwater aquifer.*

Introduction générale

La production agricole des pays sahéliens est non seulement très variable d'une année à l'autre, mais aussi souvent insuffisante pour couvrir les besoins alimentaires de leurs populations. Malgré des conditions agro-climatiques favorables à la riziculture irriguée et des investissements importants, les surfaces irriguées ne représentent que 3,3% des surfaces cultivées en Afrique Sub-saharienne contre une moyenne mondiale de 18% (Sonou, 2000). Le potentiel de développement de l'irrigation y est donc encore largement inexploité vis-à-vis des ressources en terre irrigable et en eau. Sur le plan économique, l'Afrique de l'Ouest ne produit que 1,3 % du paddy mondial et compte pour 8,4% des importations (Hirsch, 2000). L'insécurité alimentaire reste au cœur des discours politiques sur le Sahel depuis la crise alimentaire de 1973. L'envolée des prix mondiaux en 2008-2009 a réactivé la priorité accordée à l'indépendance alimentaire (Janin, 2010). L'irrigation est considérée comme le meilleur moyen d'augmenter la production agricole tout en réduisant sa vulnérabilité à la variabilité climatique (Rosegrant et Cline, 2003 ; Diouf, 2008). Alors que le développement des surfaces irriguées devrait être très faible dans la plupart des pays du monde dans les prochaines décennies. L'Afrique est le seul continent où les prévisionnistes pensent qu'elle devrait continuer à fortement progresser, du fait de la demande alimentaire croissante et d'un potentiel encore important (Paillard *et al.*, 2010) .

Le Burkina Faso, soumis à des conditions climatiques particulièrement défavorables, a développé depuis l'indépendance des stratégies socio-économiques et agricoles visant le progrès social et à booster son économie. Avec les sécheresses des années 1970, des stratégies faisant appel à la maîtrise de l'eau ont été élaborées dans le but d'améliorer la productivité agricole. Plusieurs types d'aménagements ont vu le jour avec, notamment, l'aménagement de grandes plaines (Vallée du Sourou, Vallée du Kou, site de Bagré, périmètre sucrier de la SOSUCO) et la construction de nombreux petits barrages en terre et périmètres associés. Les résultats à ce jour restent cependant mitigés, avec des infrastructures insuffisamment valorisées dont la gestion est largement déficiente (bulletin mensuel, 2010). La vallée du Sourou, objet de notre étude a enregistrée depuis 1984 plus de trois mille huit cent dix-huit hectares (3 818 ha) aménagés, constitués de seize (16) périmètres irrigués et placée sous la responsabilité de l'Autorité de Mise en Valeur de la Vallée du Sourou (AMVS). Sur le plan cultural, essentiellement, deux campagnes (sèche et humide) y sont annuellement pratiquées par les exploitants sous la supervision et l'encadrement de l'AMVS. L'aménagement du

périmètre de Gouran à vocation polyculture a été réalisé en 2005. Malheureusement, ce périmètre est aujourd'hui peu performant. De 7 t/ha environ de paddy par campagne pendant les premières années après l'aménagement, les rendements sont passés à 4 t/ha dans les dernières années (AMVS, 2012). Les causes principales de cette contre-performance divisent les acteurs de la production.

Les producteurs parlent de la baisse de fertilité des sols et la mauvaise gestion de l'eau sur le périmètre. En effet, les pratiques « d'impasses » et du moindre recours aux analyses de terre peuvent entraîner une réduction à moyen terme de la fertilité des sols (Pèlerin *et al.* ; In Stengel *et al.* 2009). De toute évidence, les terres connaissent dans le processus de mise en valeur et d'exploitation, une perte d'éléments nutritifs dont l'importance s'accroît au fur et à mesure que le processus dure, avec pour conséquence la chute de rendement. En général les compensations faites sont inférieures à la perte des éléments nutritifs engendrée par ce processus (Vander Pol, 1994, Boko et Kpagbin, 1996). SAWADOGO, un producteur du périmètre irrigué gravitaire de Gouran se plaint de ces cinq premières années d'exploitation. Il dit « Avant on faisait entre 5-6t/ha de riz mais aujourd'hui, tout tourne qu'autour de 3t/ha ». Le président de la coopérative du Bloc C du 540ha, dans un article (Bethmont *et al.*, 2003) tient ce propos « nous on voulait faire du maïs. Les semences de riz ne sont pas productives et les rendements sont en baisse avec moins de 3 tonnes à l'hectare. L'engrais ne suffit jamais car son prix est trop cher. Les seuls acheteurs fiables sont des femmes qui revendent le riz au Mali au prix de 110 F CFA le kilo. À ce prix on ne gagne rien. Du moins on couvre les charges de la production. Seul avantage, le riz ne pourri pas au magasin ». Selon les statistiques de l'AMVS (2012), le rendement tourne autour de 4t/ha pour la culture du riz 4t/ha pour le maïs et 30t/ha pour l'oignon qui sont en fait les principales spéculations dans la vallée. Les gens du « territoire » c'est-à-dire les tenants de l'ordre foncier traditionnel dénoncent : « L'État ne nous dit pas la vérité, il présente toujours des résultats positifs ; peu nombreux sont ceux qui viennent vérifier la souffrance et le courage des producteurs de la Vallée. ». Dans cette cacophonie quelques questions de recherche s'imposent :

- Quelles sont les causes réelles de la baisse de rendement dans les périmètres de la vallée ?
- Quels sont les mécanismes susceptibles de permettre de relever les rendements dans les périmètres de la vallée ?
- Quels sont les moyens nécessaires pour pérenniser les aménagements ?

Pour répondre à ces questions quelques hypothèses de recherche ont été formulées :

1. La gouvernance agricole est un instrument de contrôle qui permet de maintenir une bonne productivité dans un périmètre irrigué.
2. La maintenance agricole est un outil de sécurisation de la production agricole dans un périmètre irrigué.
3. La dynamique hydro pédologique impacte la production agricole dans un périmètre irrigué.

Pour répondre aux questions de recherche et vérifier les hypothèses, l'étude vise comme objectif global l'évaluation des impacts du fonctionnement hydraulique et pédologique sur les périmètres irrigués en zone soudano-sahélienne en général en prenant comme étude de cas le périmètre de Gouran situé dans la vallée du Sourou au Burkina Faso.

L'analyse des causes de la basse de rendement dans les périmètres irrigués préjudiciable à la vie des producteurs permet de proposer un plan d'amélioration de leurs systèmes irrigués. Ce travail procédera par un sondage pédologique pour apprécier l'état de fertilité des sols puis un diagnostic suivi d'enquêtes auprès des acteurs pour identifier des principales contraintes des systèmes irrigués afin de générer un plan d'action pour l'améliorer.

Première partie : Revue bibliographique et généralités de la zone d'étude

Chapitre I : Etat de l'irrigation dans les périmètres irrigués

Un périmètre irrigué peut être défini comme un domaine d'exploitation agricole sur lequel est aménagée une infrastructure d'irrigation. Bouderbala et *al.*, (1992) révèlent dans leur étude sur les périmètres irrigués en Afrique, l'importance de la rationalisation. Pour ces derniers, la construction des périmètres irrigués est une réponse : "Les périmètres irrigués sont conçus comme un moyen de rationaliser l'agriculture. Cette rationalisation vise principalement à la maîtrise des données géo climatiques défavorables ". Pour ces auteurs, l'élément moteur de cette rationalisation est la pratique de l'irrigation.

L'irrigation est l'opération qui consiste à apporter de l'eau à des plantes cultivées, dans le but d'assurer leur développement normal et en favoriser la production. La réponse d'une culture à l'irrigation est souvent fonction de la quantité d'eau fournie à un stade précoce ou plus tardif de la vie de la plante.

Intizar et Munir (2004), estiment que le développement de l'irrigation, en permettant des gains de productivité, la réduction des risques climatiques, ainsi qu'une meilleure situation de l'emploi tout au long de l'année, apparait comme un moyen d'améliorer la sécurité alimentaire et de lutter contre la pauvreté des populations. Elle assure une stabilité du revenu, permet une plus grande productivité et une sécurité alimentaire (Perennes, 1988).

L'irrigation couvre dans le monde 77 millions d'hectares de terres irriguées sur 1,4milliards d'hectares des terres arables au total, (en Afrique, seuls 12,5 millions d'hectares sont irrigués sur un total de 202 millions d'hectares de terres cultivées, soit 6,2%.

La proportion de terres irriguées en Afrique au sud du Sahara est encore plus réduite, puisque seuls 5,2 millions d'hectares, soit 3,3% des terres cultivées sont irrigués (FAO, 2002).

En effet, la grande hydraulique fut un modèle scientifique et centralisateur d'aménagement par l'irrigation, conçu et géré par des corps d'ingénieurs bâtisseurs depuis la deuxième partie du XIX^e siècle.

L'objectif de cette synthèse bibliographique est d'analyser les travaux de recherche qui ont porté sur l'irrigation. D'entrée de jeu, il faut dire que le paradigme du management de l'irrigation, mettant l'accent sur le rapport de l'homme à l'irrigation, s'est construit sur un constat de performances décevantes des grands périmètres irrigués (Coward, 1980). Considérée dans les années 1960 et 1970 comme un des piliers de la révolution verte et placée au centre des politiques agricoles et hydrauliques, l'irrigation a connu une période de désintérêt à partir du milieu des années 1980 et au cours des deux décennies suivantes. Les Etats et les bailleurs de fonds, déçus par les résultats mitigés fournis par l'agriculture irriguée au regard des importants fonds publics mobilisés, ont fortement réduit leurs investissements

pour la création d'infrastructures hydrauliques et l'aménagement de nouvelles terres irrigables (Turrall et al. 2010), que ce soit dans le cadre de grands aménagements ou de périmètres villageois. Ce désengagement a d'ailleurs touché tout le secteur agricole et s'est aussi traduit par une dérégulation économique. Cela a contribué à l'instabilité des prix et à la crise alimentaire de la fin des années 2000, même si celles-ci trouvent aussi des origines dans le fonctionnement des marchés mondiaux (Banque mondiale, 2008 ; Caron, 2008 ; Madramootoo et Fyles, 2010). La contre-performance des périmètres irrigués suscite un grand débat dans le monde des aménagistes et économistes.

D'aucuns pensent que la contre-performance des périmètres irrigués sur le plan des rendements serait liée au non-respect des paquets techniques par les producteurs. Faute d'entretien et de provision pour leur amortissement, ces aménagements, souvent réalisés à grands frais, se dégradent rapidement et nécessitent des réhabilitations récurrentes.

En vue de relever les facteurs intervenant dans le rendement de la culture du riz, Turrall et al. (2010) citent trois facteurs à savoir : l'utilisation des variétés adaptées, la gestion de la fertilité des sols et la gestion de l'eau. Pour ce dernier facteur, ils déclarent que sa gestion est manifestement défailante sur de nombreux périmètres, ce qui conduit à des distributions inefficaces, aggravées par l'insuffisance de nivellement des parcelles et d'entretien du réseau hydraulique

L'exploitation d'un périmètre irrigué implique certains problèmes, notamment le respect des dates de semis par quartier d'irrigation, l'utilisation de l'eau conformément au tour d'eau et l'entretien des équipements qui n'est possible que si les irrigants sont en véritables groupements. T. Kelley White (1993), directeur de la division de l'analyse des politiques à la FAO, confirme ce constat lorsqu'il déclare : "les politiques d'aménagement et de mise en valeur des périmètres irrigués surtout ceux à grande échelle posent quelquefois de sérieux problèmes de gestion d'exploitation dont tous les aspects ne sont pas encore totalement maîtrisés". Pour venir à bout de ces problèmes, J.A. Sagardoy (1987), responsable de la division de la mise en valeur des terres et des eaux de la FAO préconise ce qui suit :

"Le bon fonctionnement d'une organisation dépend en partie de sa structure (c'est-à-dire de la manière dont les tâches et les responsabilités sont réparties entre ses membres) et en partie de son mode de gestion (c'est-à-dire de la manière dont les décisions sont prises au sein de la structure établie)".

Parlant du système hydro pédologique, il va sans dire que cet aspect est un point focal dans la réussite d'un périmètre irrigué. Il comprend le sol, le sous-sol et les nappes sous-jacentes. La destruction des sols et la diminution de leur productivité prennent des proportions alarmantes

partout dans le monde. Dans les pays tropicaux et subtropicaux, on assiste à la dégradation irréversible de surfaces de plus en plus importantes, faisant disparaître des terres agricoles. Actuellement, 0,3 à 0,5% des surfaces agricoles utilisées sont perdues annuellement en raison de leur exploitation agricole (Steiner, 1996). De plus, des résultats de simulations sur la dégradation des terres ont prédit un pourcentage de terres dégradées qui passerait de 14,7% en 1995 à 42,6% en 2035 avec près de 16% de terres fortement dégradées contre 1,6% en 1995 (Brabant et *al.*, 1996). La forte croissance démographique des pays situés dans les zones tropicales, de même que l'intensification de l'exploitation des sols qu'elle entraîne, constitue l'une des causes principales de cette dégradation. Les conséquences de cette mise en culture conjuguées aux contraintes climatiques sont un appauvrissement des sols en matière organique, en éléments minéraux et un effondrement de la structure (Hien, 1990).

Par ailleurs l'exploitation continue des sols sans restitution organique et/ ou minérale provoque obligatoirement une baisse de la productivité des sols (Sedogo, 1993). Selon cet auteur, l'emploi exclusif des engrais chimiques n'empêche pas cette baisse de la production intervenant quelques années après la mise en culture ; bien au contraire celle-ci s'intensifie si on augmente les doses. Sa progression, en entraînant la diminution de la productivité des terres et l'augmentation des charges pour maintenir le niveau de production, menace l'approvisionnement alimentaire de la population humaine mondiale (Steiner, 1996). L'irrigation d'un sol place ce dernier dans une situation fondamentalement différente du régime pluvial : si douce soit-elle, l'eau d'irrigation possède des caractéristiques chimiques susceptibles, à plus ou moins long terme, de modifier le sol.

A ce sujet, Szabolc (1989) et Chapman (1996) indiquent que la perte de productivité des sols est due en grande partie à l'accumulation de sels, et que ce problème d'ordre mondial a pris une ampleur alarmante dans les régions arides, semi-arides et subhumides. Pendant les opérations culturales, la structure du sol peut se dégrader dans les conditions suivantes :

- les tracteurs, les remorques et autres peuvent compacter le sol.
- dans les macroporosités du sol, l'air peut être remplacé par l'eau ce qui provoque la saturation permanente du sol et partant la formation des gleys.

L'analyse à long terme de l'évolution de la qualité des ressources hydrauliques dans les régions arides et semi arides révèle dans des nombreux cas, une tendance à l'accroissement de la salinité de l'eau dans le système hydro pédologique. Dans les périmètres irrigués, les sels introduits dans le sol finissent par atteindre totalement ou partiellement la nappe phréatique selon que le périmètre est doté ou non d'un réseau de drainage artificiel. Le cas de Teffeloune (Tunisie) où la conductivité électrique de la nappe est passée de 5,5 avant les pluies à

7,2dS /m à la fin de la saison de pluies en est un exemple. Le constat de Hachicha et *al.* (1993) sur le périmètre de Mornaguia (basse vallée de Mejerda, Tunisie), irriguée depuis 1983 montre une salinisation des sols qui se manifeste dans le secteur en pente de Bou Hnach, par suite de transfert des eaux de drainage durant la saison de pluies des parcelles amont vers des parcelles situées plus bas sont des parfaites illustrations.

Sur le plan agronomique, la dégradation des sols se manifeste par le processus d'interaction entre les charges salines des eaux d'irrigation et les constituants chimiquement actifs des sols à savoir les minéraux argileux et l'humus (Cheverry, 1974, Drouby, 1976 ; Szabolc, 1979). La principale conséquence est la détérioration de propriétés fonctionnelles des sols tel que la perméabilité, la densité apparente, la porosité, l'aération, l'infiltration. Le régime hydrique des sols est une notion bien appréhendée en pédologie (Boulaine, 1981) et se définit comme la succession des états de l'humidité d'un sol au cours d'une période de temps. Il se caractérise sur une épaisseur donnée de sol appelée section de contrôle.

La dégradation des sols dues à l'agressivité des facteurs climatiques (pluies et vents violents) et autres activités anthropiques se manifeste par la formation d'un encroûtement superficiel des sols qui contrôle le flux hydrique en culture pluviale et irriguée (Moore et Singer, 1990). Selon les études de Feller (2005) et Le Bissonnais et *al.* (2005), l'encroûtement généralisé en zone soudano sahélienne, fournit un ruissellement à l'échelle des versants comme à celle de champ sur des distances de quelques mètres ou leur redistribution révèle d'une structure géo spatiale.

Au Niger, selon la même source, sur les versants d'une centaine de mètres, les croûtes altèrent fortement les propriétés des sols en réduisant leur capacité d'infiltration entraînant la limitation de l'installation en profondeur et en masse du système racinaire du mil, quel que soit leur texture. Cette réduction provoque une baisse significative de l'alimentation en eau du mil avec chute de son rendement. Sur les périmètres irrigués, la formation des croûtes sous l'effet cinétique des pluies et sous le ruissellement est grandement accélérée par la sodisation et l'alcalinisation (Keren, 1990). L'alcalinisation favorise la destruction des sols avec baisse de leur réserve en eau utile. Cette baisse démarre à un seuil faible qui ne confère pas encore à l'horizon le statut d'alcalin ni de sodique ($SAR=13,5$) (Valet et Le Coustumer, 2004).

Au Burkina Faso, il a été constaté sur les périmètres irrigués aux sols bruns que le labour exécuté avec une charrue non réversible crée des bandes compactées qui s'encroûtent. Leur prise en masse empêche son éclatement par des bœufs à faible traction. Ces croûtes réduisent proportionnellement l'infiltration et l'alimentation en eau des cultures créant une sécheresse édaphique avec chute de rendement.

Au plan hydrologique, l'encroutement généralisé abrasant toute rugosité engendre un ruissellement total à l'échelle du champ ou du bassin versant jusqu'à ce qu'intervienne un grattage mécanisé. Selon les estimations (FAO, 2000), jusqu'à 40 % des denrées produites dans le monde sont cultivées par irrigation, mais de grandes quantités d'eau utilisées à cette fin sont perdues à cause de fuites dans les systèmes d'irrigation. Les pratiques d'irrigation peu rationnelles sont en outre une des principales causes de la salinisation des sols. De manière générale, un dixième des terres irriguées dans le monde ont été dégradées par le sel (FAO *loc. cit.*). En outre les changements climatiques font que de plus en plus de régions du monde sont exposées au risque de la sécheresse et de la désertification (banque mondiale, 2008).

Des pratiques d'irrigation améliorées contribueront à conserver l'eau et à protéger les terres vulnérables. Maitriser l'apport d'eau pour l'exploitant agricole, consiste non seulement à savoir quand arroser, quelles doses apporter mais aussi et surtout comment apporter cette eau à la plante afin de garantir une production quantitative et qualitative à moindre coût et éviter tout apport d'eau inutile voire nuisible.

L'irrigation est de plus en plus incontournable dans les régions à pluie annuelle très faible (400-600mm) ou à saisons très contrastées (climat tropical soudanien) avec une saison des pluies excédentaire mais avec une saison sèche longue de plus de cinq mois et aussi des régions à forte irrégularité pluviométrique dans le temps et dans l'espace (Faggi et al., 2000)

Les méthodes d'irrigation peuvent se regrouper en trois : Irrigation de surface, irrigation par aspersion, irrigation à la goutte à Irrigation de surface.

I.1 Irrigation de surface

L'irrigation par bassin est utilisée en riziculture dans les périmètres irrigués, l'irrigation à la raie ou par sillon est adapté aux cultures du maïs, de canne à sucre. Elle est en usage dans les zones à reliefs peu accusés tels que les deltas alluvionnaires exigeant souvent une régularisation des pentes par un nivellement superficiel. La pente, le débit et la longueur des raies varient en fonction de la perméabilité du sol.

De nos jours, une économie d'eau et de main d'œuvre se consacre à travers l'emploi des conduites ou des siphons en PVC dans la distribution de l'eau dans les raies.

I.2 Irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion s'est développée dans les périmètres irrigués industriels des cannes et de maïs dans les années 1950 dans la nécessité d'économie de l'eau en appliquant des doses d'arrosage de plus en plus faibles. Cette technique a commencé par des canons à haute pression ayant donné des répartitions médiocres (sensibilité au vent, pluviométrie horaire

élevée, effet de battance), puis des arroseurs à basse à moyenne pression en disposition 18x18m et 18x24m ont donné des résultats intéressants (Bussereau, 1977).

Toutefois le déplacement des rampes et des arroseurs limite le temps d'arrosage et en même temps s'avère coûteux en main d'œuvre. Depuis une vingtaine d'années, des machines à irriguer de plus en plus sophistiquées sont apparues allongeant la durée d'irrigation tout en limitant la main d'œuvre. Il s'agit des enrouleurs, des rampes frontales, etc.

I.3 Irrigation localisée

L'Irrigation localisée procède par un apport quotidien de l'eau aux plantes à faible dose (2 à 8l /h) par l'intermédiaire des goutteurs délivrant l'eau au goutte à goutte.

L'eau est délivrée dans la zone racinaire et forme un bulbe d'humidité d'extension variable en fonction des caractéristiques hydrodynamique du sol (Fauconnier, 1991).

I.4 Synthèse sur l'irrigation en Afrique (en chiffre)

Cinquante-trois pays d'Afrique ont été regroupés en sept régions présentant une cohérence climatique et géographique qui influe fortement sur la problématique de l'irrigation.

Ces régions (tableau 1) et les pays inclus dans chaque région sont:

- Nord: Algérie, Égypte, Jamahiriya arabe libyenne, Maroc, Tunisie;
- Région Soudano-sahélienne : Burkina Faso, Cap-Vert, Djibouti, Érythrée, Gambie, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Somalie, Soudan, Tchad;
- Golfe de Guinée : Bénin, Côte d'Ivoire, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Libéria, Nigéria, Sierra Leone, Togo;
- Centre : Angola, Cameroun, Congo, Gabon, Guinée équatoriale, République Centrafricaine, République démocratique du Congo, Sao Tomé-et-Principe;
- Est: Burundi, Éthiopie, Kenya, Ouganda, République-Unie de Tanzanie, Rwanda
- Sud et Îles de l'océan Indien : Afrique du Sud, Botswana, Lesotho, Malawi, Mozambique, Namibie, Swaziland, Zambie, Zimbabwe; Comores, Madagascar, Maurice, Seychelles

Tableau 1 : Distribution régionale des techniques d'irrigation en maîtrise totale

région	Irrigation de surface		Irrigation par aspersion		Irrigation localisée		total
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Nord	4925733	79,1	923583	14,8	38190	6,1	6230706
Soudano-sahélien	2090384	99,6	7654	0,4	200	0,1	2098238
Golfe de Guinée	311348	86,5	47220	13,1	1520	0,4	360088
Centre	120221	95,7	5430	4,3	1	0,0	12652
Est	522520	88,1	68571	11,6	2012	0,3	593103
Sud	732710	37,3	1022358	52,1	207834	10,6	1962902
Ile de l'océan indien	1086413	98,1	19468	1,8	2022	0,2	1107903
total	9789329	78,4	2094284	16,8	594979	4,8	12478592

Source : Enquête AQUASTAT – 2005

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1 Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée dans la vallée du Sourou, au nord-ouest du Burkina Faso à environ 270 km de Ouagadougou. Ses coordonnées géographiques sont les suivants : 03° 20 ' longitude ouest et 13° 00 ' latitude nord. Les périmètres irrigués sont limités à l'ouest par le fleuve Sourou, à l'est par les villages de Lô, Bossé et Tani, au nord par les villages de Benkadi ou Toma-Koura et au sud par les villages de Gouran et Touroukoro. Son potentiel aménageable sur le territoire burkinabé se situe à cheval entre quatre provinces (Kossi, Mouhoun, Nayala et Sourou) (figure 1). La vallée a un potentiel irrigable de près de 57 000 ha, mais seulement 3818 ha sont effectivement aménagés, 2033 ha supplémentaires sont en cours d'aménagement à Di.

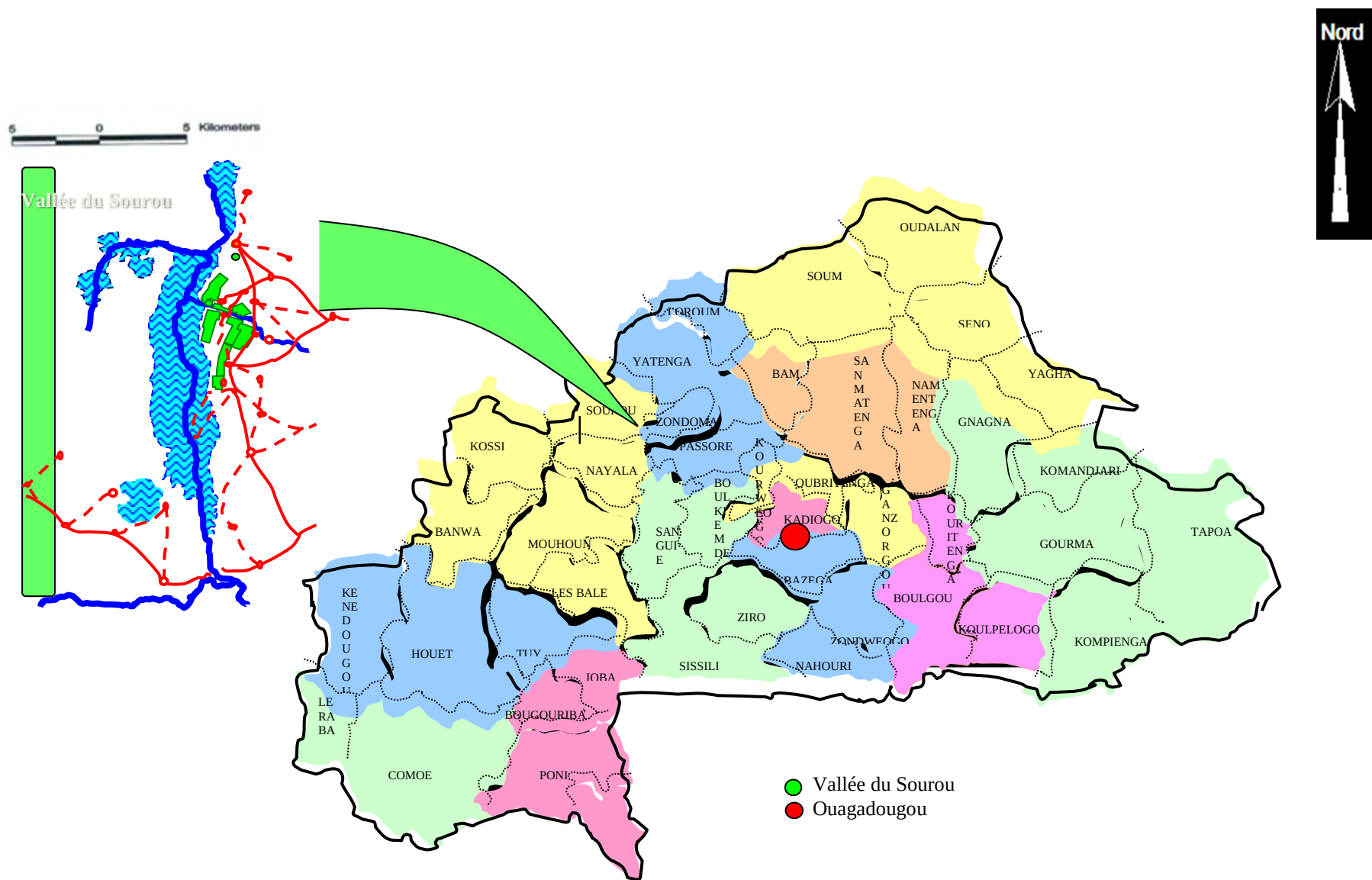


Figure 1 : Carte de présentation de la vallée du Sourou (AMVS, 2010)

II.2 Milieu physique

II.2.1 Hydrographie

Le réseau hydrographique est constitué des fleuves : le Mouhoun, le Sourou et de son affluent le Dèbé. Le fleuve Sourou est orienté du Nord-est vers le Sud sur une distance de 120 kilomètres de Toroli (Mali) jusqu'à Léry (Burkina Faso). Par le passé le Sourou est resté tributaire du régime hydrologique du fleuve Mouhoun. Dans le but d'assurer une meilleure disponibilité en eau d'irrigation dans la vallée, une digue batardeau coupant le lit mineur du Mouhoun et la construction d'un canal de dérivation joignant directement le lit mineur du Mouhoun et celui du Sourou en amont du barrage de Léry a été réalisé en 1984. Le fonctionnement hydraulique de la vallée et de l'amont du fleuve Mouhoun se trouve ainsi modifié. Il y a eu, à cet effet, une augmentation de la surface irrigable à partir des eaux stoppées dans le fleuve Sourou pouvant atteindre près de 600 000 000 m³.

II.2.2 Climat

La vallée du Sourou a un climat de type nord soudanien. Selon le découpage phytogéographique (Guinko, 1995), la vallée du Sourou se situe dans la zone intertropicale dans le domaine soudano sahélien avec une pluviométrie comprise entre 550 et 900 mm par an. Le climat de la vallée du Sourou est, comme partout au Burkina Faso, caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison pluvieuse de durée inégale. La saison des pluies va de juin à octobre et la pluviométrie est fortement variable d'une année à l'autre. Les hauteurs d'eau enregistrées de 2001 à 2013 sont présentées dans la figure 2.

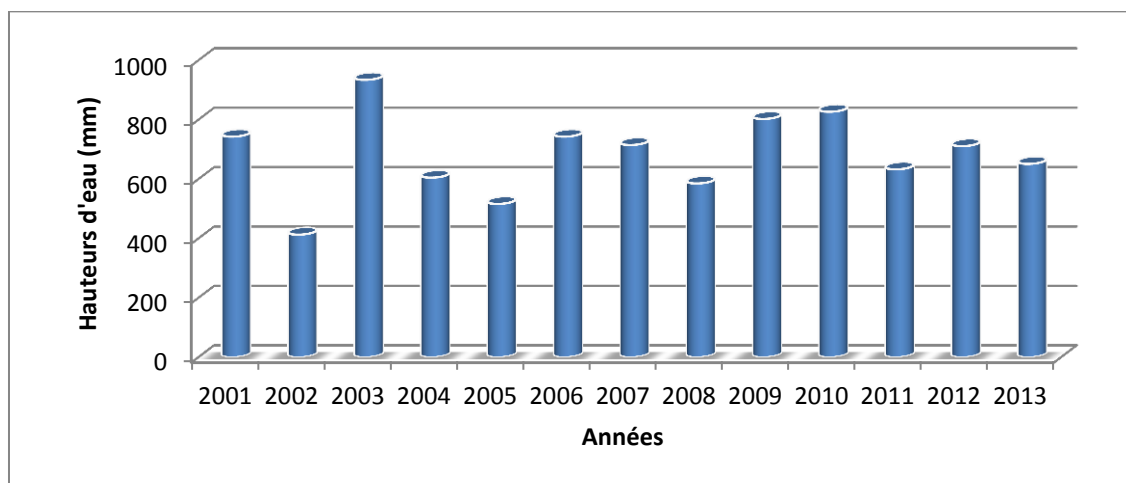


Figure 2: Pluviosité annuelle 2001-2013 de la vallée du Sourou

Source : Station agro-météorologique de Di

Elles varient d'une année à l'autre avec une moyenne annuelle de 683,42 mm de pluie. L'année 2003 a enregistré la plus forte pluviométrie avec 934,3 mm d'eau. Quant à 2002 elle reste l'année la moins arrosée à hauteur de 413 mm d'eau. La pluviométrie enregistrée au cours de cette campagne 2013 est de 651,3 mm répartis sur 57 jours (Station agro-météorologique de Di, 2013).

Le mois le plus pluvieux est celui de juillet avec 167 mm /mois comme l'indique la figure 3.

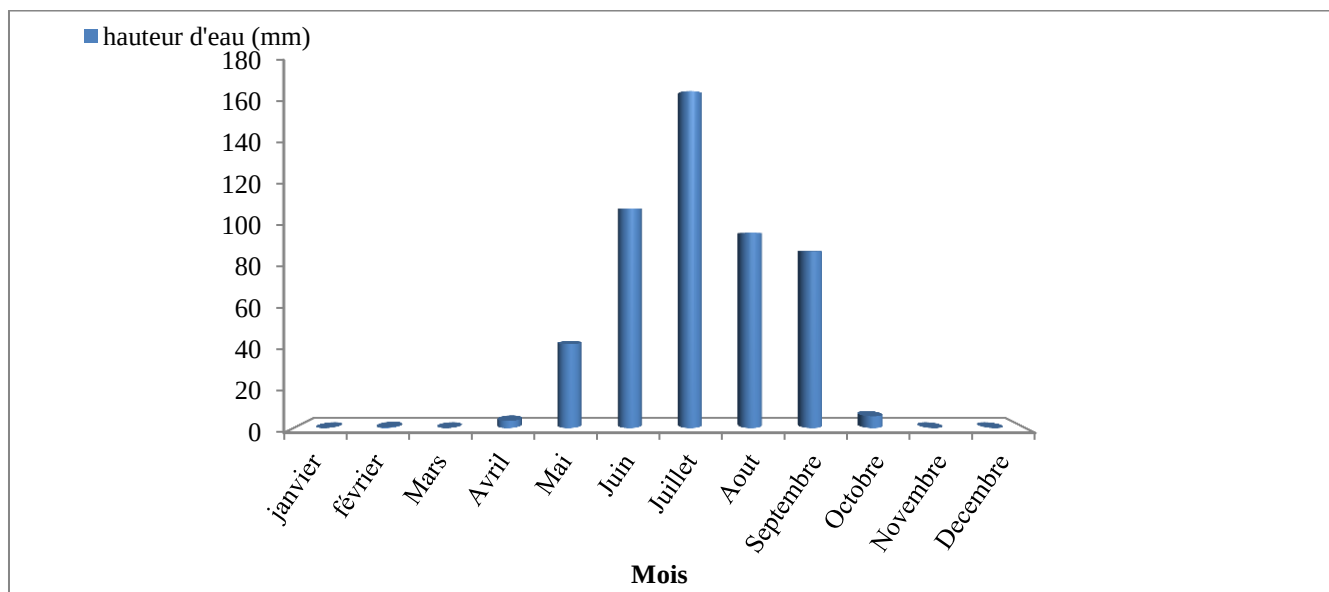


Figure 3: Pluviosité annuelle de la vallée du Sourou en 2013

Source : Station agro-météorologique de Di

Les paramètres thermiques tels que la température et l'insolation jouent un rôle important sur la dessiccation du sol et du bilan hydrique global (Zoungrana, 1991). Dans la vallée du Sourou comme sur l'ensemble du Burkina Faso, on assiste à l'alternance d'une période froide et chaude. Les températures moyennes sont stables ; elles oscillent entre 17 °C et 22 °C pour les mois frais (novembre-février) et de 35 °C et 41 °C pour les mois chauds. L'amplitude diurne est importante en saison sèche (18 °C) ; elle s'atténue en saison pluvieuse. Pour l'année 2013, durant la période froide (novembre-février) on a des minima variant entre 15,9 et 19,5°C; la période chaude (mars-octobre) connaît des maxima de 32 et 41 °C. La figure 4 présente les moyennes des températures maximales et minimales de 2013.

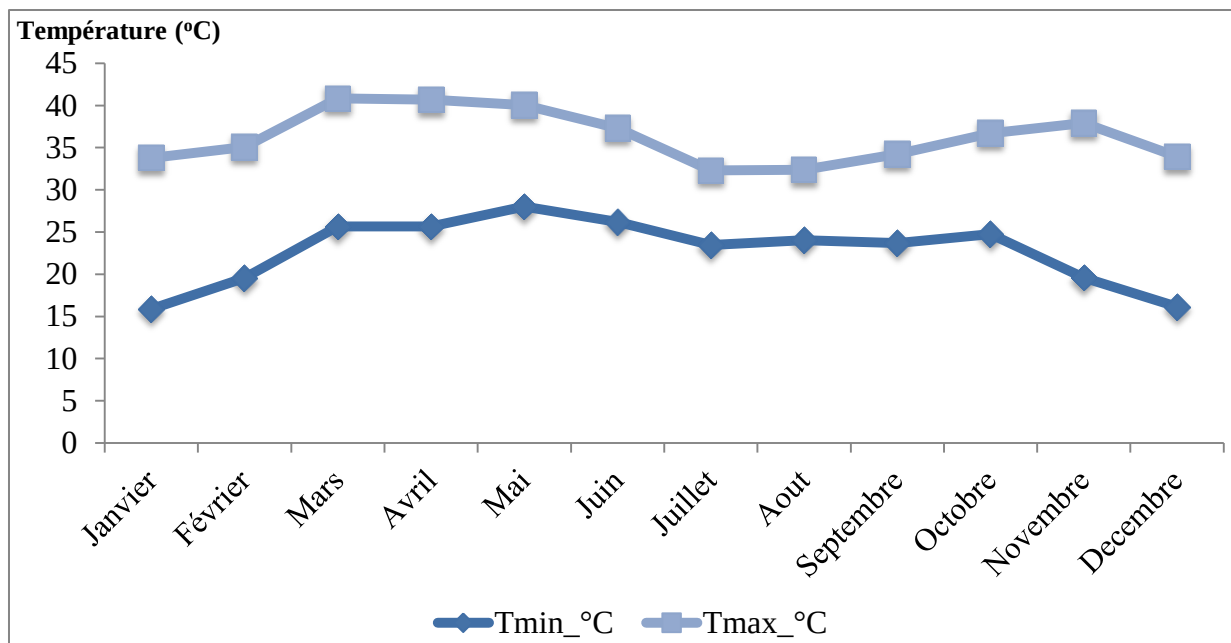


Figure 4: Température mensuelle mini et maxi de la vallée du Sourou en 2013

Source : Station agro-météorologique de Di

II.2.3 Relief et sols

Dans la vallée du Sourou, le relief est assez monotone et quelque fois interrompu par des affleurements de grès parfois fortement escarpés (sud du Mouhoun, nord-est des Balé et le centre des Banwa) (Bin, 2004). Les collines constituent les hauts ensembles de la région avec des altitudes variant généralement entre 340 et 458 m. Le pic de Konkoliko (dans les Balé) est le plus haut sommet de la région et culmine à 621 m d'altitude. Le haut glacis est constitué par les plateaux d'altitude moyenne de 300 à 340m, qui jouxtent les hauts ensembles (Siris, 2012).

Quant aux plaines, elles couvrent plus de 70% de la superficie régionale et correspondent à la partie inférieure du glacis. Elles s'étendent au nord sur les deux rives du fleuve Sourou et au centre sur toute la haute vallée du fleuve Mouhoun, à cheval sur les provinces de la Kossi, des Banwa et du Mouhoun. L'altitude moyenne dans ces plaines est de 250 m, elle atteint son plus bas niveau dans les zones d'inondation des cours d'eau.

La vallée du Sourou a fait l'objet de nombreuses études pédologiques: ORSTOM (1969-1976), BUNASOLS (1978-1988). Selon ces études, les principaux sols rencontrés dans la vallée sont classés selon la classification CPCS dans l'ordre d'importance décroissante suivante:

- sols bruns eutrophes tropicaux ferrugineux ;

- sols bruns eutrophes hydromorphes ;
- sols hydromorphes à pseudogley d'ensemble ;
- sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds ;
- sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds ;
- sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds ;
- vertisols ;
- sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphes ;
- sols bruns eutrophes hydromorphes ferrugineux.

Les sols dominants sont les sols bruns, les sols peu évolués d'apport alluvial, les sols hydromorphes, les vertisols. Ils ont une texture fine, une forte capacité de rétention d'eau, une perméabilité faible, une faible aération des horizons sub-superficiels, un fort compactage, un pH moyen et un degré élevé de saturation en bases (Faggi et *al.*, 2000). Ces sols ont une bonne teneur minérale, limitée toutefois par des carences en matière organique, en azote, en phosphore et en potassium (BUNASOLS, 1998).

II.2.4 Végétation

Les formations végétales naturelles rencontrées dans la vallée sont constituées d'une savane arborée et arbustive, et la forêt galerie le long du cours d'eau. Les formations végétales de la vallée du Sourou abritent diverses essences dont *Mitragina Inermis*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Anoéissus leiocarpus*, *Vitellaria paradoxa*, *Lanéa microcarpa*, *Parkia biglobosa*, *Pilostigma sp.* Avec la pression démographique, on assiste à des mises en cultures répétées et à un surpâturage dans le lit majeur de la vallée du Sourou, entraînant la progression de formations dégradées à *Aristida mutabilis* et à *Panicum laetum*, de même quelque disparition du Karité (*Vitellaria paradoxa*), (Bethmont et al., 2003).

Le tapis herbacé est dominé par *Loudetia togoensis*, *Andropogon ascinodis* et *Pennisetum pedicellatum*.

II.3 Milieu humain et activités économiques

II.3.1 Population

La population de la vallée est estimée à soixante-trois mille cent soixante-treize (63 173) habitants (INSD, 2007). Les ethnies Marka et Dafing constituent la population la plus importante et la plus ancienne de la vallée du Sourou. A leurs côtés coexistent les Samo, les migrants Mossi, les Bwaba, et les éleveurs transhumants tels que les Peulhs et les Rimaïbé de la région de Barani, et d'autres minorités ethniques. Les activités économiques du Sourou sont l'agriculture, l'élevage et la pêche.

II.3.2 Agriculture et élevage

L'agriculture contribue à hauteur de 30% à la formation du Produit Intérieur Brut (PIB) et occupe 86% de la population active (MEF, 2005) au Burkina Faso. Malgré cette importance capitale pour l'économie nationale, la production agricole est essentiellement de type traditionnel (MAHRH, 2010). En outre, la faible augmentation de la production vivrière et ses fluctuations interannuelles constituent des problèmes majeurs et chroniques pour le pays. L'amélioration de la sécurité alimentaire, la productivité et la compétitivité de l'agriculture ne sont possibles qu'à partir de la formulation de stratégies sur la base d'une approche intégrée qui embrasse la fertilité des sols et l'étude globale des systèmes de production dans leur environnement socio-économique. C'est dans cette optique de diversification de cultures que depuis 1985 le Burkina Faso a opté pour la riziculture irriguée (AMVS, 2009).

En effet, depuis quelques années, le riz constitue une denrée alimentaire de base pour la population burkinabé. Pourtant la production nationale est très en deçà des besoins de consommation. Selon les statistiques du MAHRH (2008) avant 2008, la production nationale de paddy était de 100000 tonnes en moyenne par an soit environ 60000 tonnes de riz « blanc » tandis que les importations variaient de 250 000 à 350 000 tonnes. Ces importations ont coûté 40 milliards de francs CFA par an. Ces chiffres mettent en évidence le faible taux de couverture des besoins par la production nationale qui représente ainsi avant 2008 moins de 18% de la consommation. Pour pallier cette situation, les stratégies d'intensification de la culture du riz sont mises en œuvre à travers la riziculture irriguée, de bas-fonds et pluviale. Ces stratégies permettront d'augmenter la production dans le but, d'une part, de couvrir la consommation intérieure et même d'exporter une partie du riz produit localement et, d'autre part, d'accroître les revenus des producteurs et de rapporter ainsi des devises importantes pour le pays. L'importante biomasse des bourgoutières et la disponibilité de l'eau sont autant d'atouts pour l'élevage. La zone connaît un élevage extensif à trois systèmes de productions : la grande transhumance, la petite transhumance et l'élevage sédentaire, tout ceci étant pris en compte dans le Schéma directeur d'aménagement de la vallée de 1986. Le système de transhumance est le fait des Peulh éleveurs de profession, tandis que le système sédentaire est pratiqué par les agriculteurs (Zoungrana, 1991). Les facilités offertes par le site en eau et en pâturage ont attiré des Peulh originaires de la région de Tougan (rive Est) et du Nord Yatenga. L'élevage bénéficie également des sous-produits des cultures irriguées comme du foin.

II.3.3 Pêche et faune

La pression démographique induite par les aménagements hydro agricoles a favorisé la réduction des ressources fauniques de la zone. Les petits mammifères et les oiseaux sont fréquemment rencontrés sur la rive ouest du Sourou. On note aussi la présence d'une faune aquatique abondante favorisée par le fleuve Sourou et son affluent le Dédé ; elle est constituée par les hippopotames les crocodiles et diverses espèces de poissons. Plus de 50 espèces de poissons migrent dans la zone (Sher, 2000). Les captures concernent principalement trois espèces appartenant au genre *Tilapia*. Les principales familles de poissons sont: Cichlidae, Mormyridae, Cyprinidae, Polypteridae et Bagridae.

Par rapport aux pratiques traditionnelles, la création d'une vaste retenue d'eau a relancé la pratique de la pêche. L'importance du plan d'eau (de 100 000 ha à son maximum) s'avère propice aux espèces piscicoles planctophages ou autres de sorte que la retenue fournit maintenant 800 tonnes de poisson. Dans la vallée du Sourou, la pêche constitue donc un sérieux appoint dans les comptes régionaux, d'autant qu'un pêcheur qui immerge ses filets le soir et les relève le matin gagne entre 4000 à 5 000 francs CFA par jour contre 500 francs pour un salarié agricole (Zoungana et al., 2005).

II.4 Présentation des options d'Aménagements de la Vallée du Sourou

La vallée du Sourou se situe au nord-ouest du Burkina Faso dans la région de la Boucle du Mouhoun (figure 5). Son emprise, située à cheval de l'affluent/défluent du fleuve Mouhoun qu'est le Sourou, couvre une superficie de 3906 km². Les études visant la valorisation du potentiel hydro agricole de la vallée du Sourou ont démarré depuis 1925. Il faut attendre 1966 pour voir le premier périmètre irrigué de la vallée du Sourou d'une superficie de 144ha réalisé à Guédougou avec l'appui du Fonds d'Aide et de Coopération (FAC) et la Croix Rouge pour accueillir les colons venant de l'Office du Niger au Mali. Suite aux sécheresses consécutives des années 1970, le Gouvernement a décidé de faire de la région du Sourou, une zone de développement prioritaire eu égard à son important potentiel de terres irrigables. Depuis cette date, plusieurs aménagements ont été réalisés et ont permis l'irrigation d'une superficie de l'ordre de 3818 ha.

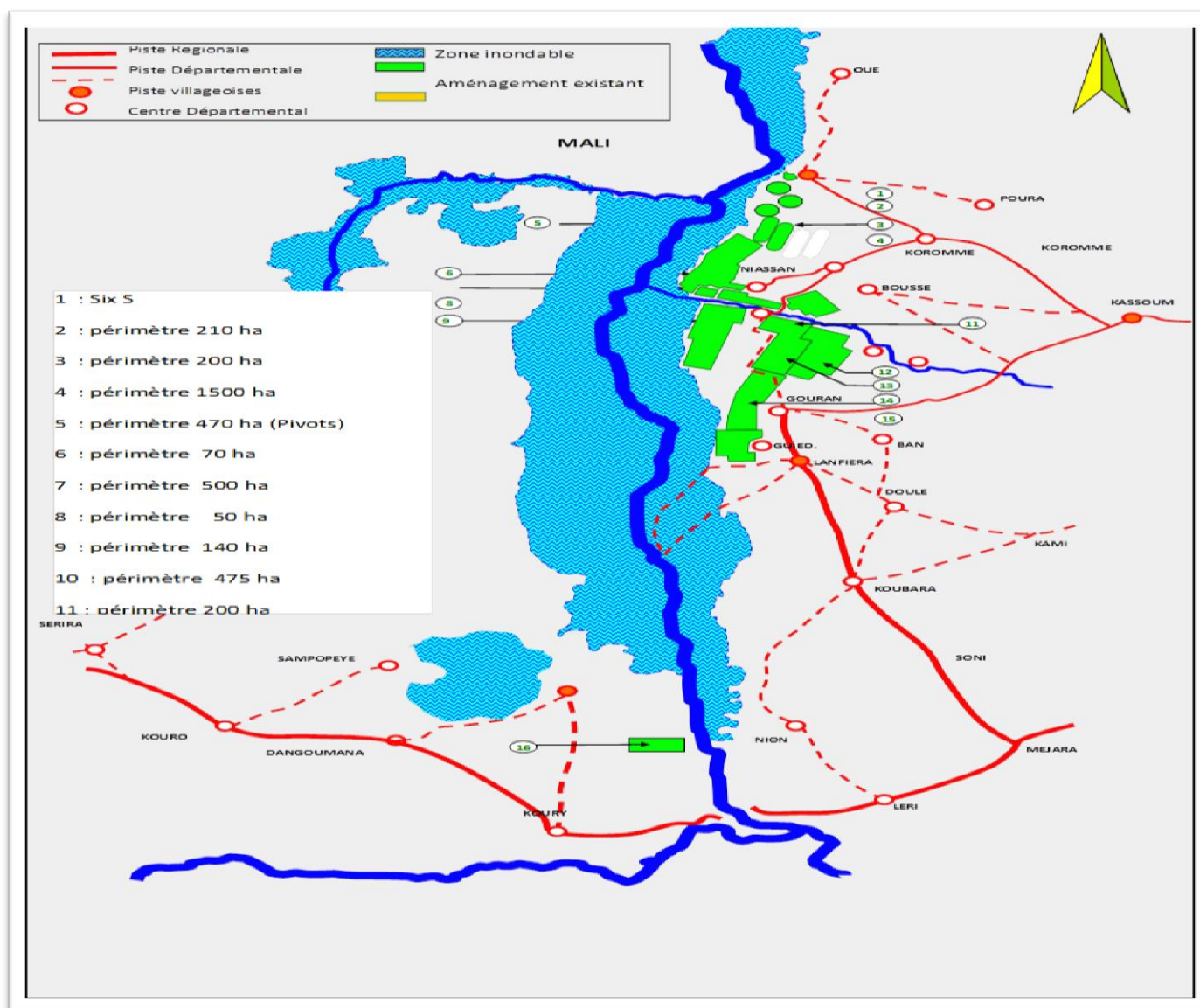


Figure 5: Carte de présentation des Aménagements de la Vallée du Sourou

Source : AMVS (2000).

L'évolution chronologique des aménagements montre que la majeure partie des aménagements a été réalisée durant la période 1980 à 2000. Le tableau 2, indique les trois options d'aménagements réalisés par dates et par type d'aménagement.

Tableau 2: Les périmètres aménagés de la vallée du Sourou

Périmètres irrigués	Année réalisation	Système irrigation	superficie
Guiédougou1	1967	Gravitaire	144 ha
Di 1	1977	aspersion	210 ha
Guiédougou2	1980	californien	144 ha
Di 2	1986	aspersion	210 ha
CAPIN	1986	gravitaire	50 ha
CAPSO	1987	gravitaire	140 ha
SOCAMAD	1990	gravitaire	460 ha
CANI	1993	gravitaire	500 ha
200 ha BOAD	1993	gravitaire	200 ha
CAD-SOCAMAD	1996	gravitaire	925 ha
SONO	1997	aspersion	210 ha
Gouran plaine	2005	gravitaire	610 ha
TOTAL			3 818

Source : AMVS (2000)

Le constat dans ce tableau est que le système d'irrigation gravitaire est dominant suivi de l'aspersion. Le système californien n'existe que sur un seul périmètre, celui de Guiédougou2.

II.4.1 Les périmètres irrigués par gravité

Ces périmètres sont irrigués par pompage à partir des chenaux adducteurs à l'aide d'hydrovis ou vis d'Archimède actionné par un moteur diesel. Ils représentent 79% des superficies aménagées. Les eaux pompées sont refoulées dans un canal primaire trapézoïdal bétonné (photo 1). La répartition de l'eau dans les canaux secondaires et tertiaires est assurée à l'aide d'ouvrages de prise (partiteur fixe, module à masque, vanne tout ou rien). Les canaux primaires et secondaires sont généralement bétonnés et les tertiaires sont en terre. Les périmètres sont protégés contre les crues de la rivière Sourou par des digues de protection en terres calées à la cote 253m le déversoir du barrage de Léry étant à la cote 252,5m.



Photo 1: canal 1^{ère} (Adjeffa, 21/02/2012)

II.4.2 Les périmètres irrigués par aspersion

Les périmètres irrigués par aspersion portent sur le système pivot (photo 2) et représentent 17% des superficies aménagées. L'eau est pompée à partir des chenaux par des pompes centrifuges et refoulée au niveau des conduites en acier. Ces conduites sont reliées directement aux rampes rotatives tandis que pour les rampes frontales, la charge d'eau est cassée au niveau d'un canal adducteur en terre acheminant l'eau vers un canal trapézoïdale alimentant la pompe de la rampe frontale pour une mise en pression. A ce jour, ce système ne fonctionne pas. Les producteurs estiment que le coût de production sous pivot est insupportable.



Photo 2 : rampes (Adjeffa, 21/02/2012)

II.4.3 Un périmètre de type semi-californien

Ce système existe uniquement au niveau d'un seul secteur sur une superficie de 144ha soit 4% des superficies aménagées. L'eau de pompage est refoulée directement au niveau des conduites en aciers (photo 3). Ces dernières desservent une série de rampes portant des bornes de sortie.



Photo 3: conduites en acier (Adjeffa 21/02/2012)

II.5 Mobilisation de ressources en eau d'irrigation

Le barrage du Sourou résulte de la réalisation de deux aménagements majeurs. Il s'agit d'une part de la construction en 1976 d'un barrage pont en béton muni de 4 vannes plates permettant l'évacuation d'un débit maximal de 80 m³/s (photo 4) à l'amont immédiat de la confluence Mouhoun-Sourou. En effet, avant l'aménagement de cet ouvrage, les caractéristiques topographiques du Sourou font qu'une bonne partie des apports des crues du Mouhoun se refoulent et se stockent dans le Sourou constituant ainsi, une importante retenue naturelle. Cependant cette réserve naturelle se vidange progressivement dans le Mouhoun au fur et à mesure de la décrue ; d'où le rôle de l'ouvrage de lery où les vannes assurent le contrôle des sorties d'eau. Un deuxième aménagement vient compléter le rôle du premier. C'est le creusement en 1984 d'un canal qui dévie le fleuve Mouhoun dans le Sourou. Ainsi, les eaux du Mouhoun contrairement au passé, sont directement versées dans la réserve, ce qui a permis le contrôle total des eaux du Mouhoun.

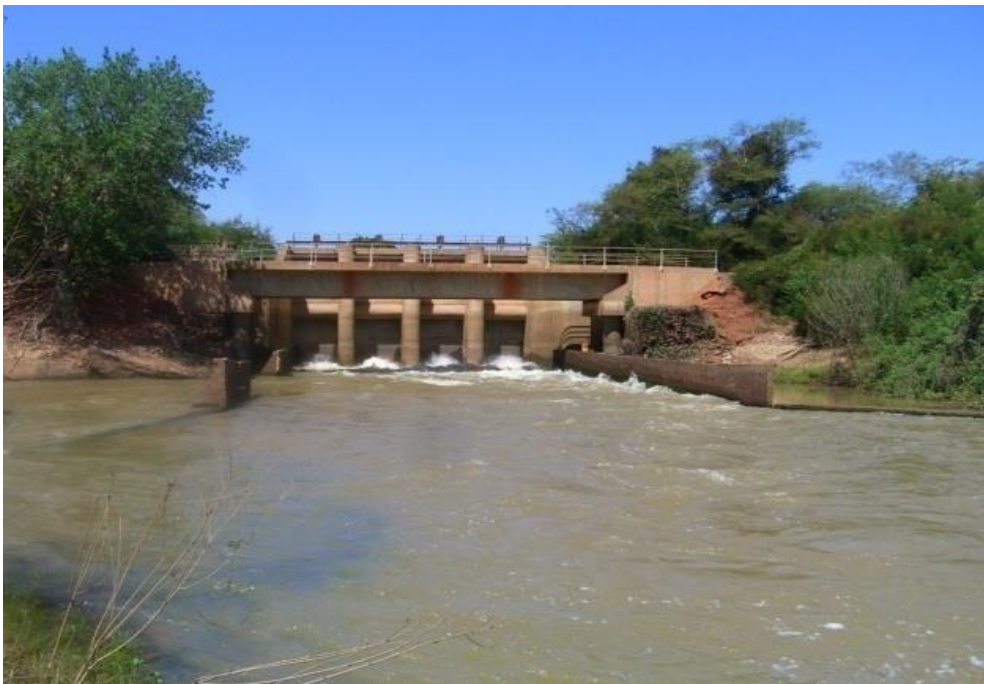


Photo 4: ouvrage de contrôle des sorties (Adjeffa, 21/02/2012)

Bassin du Sourou

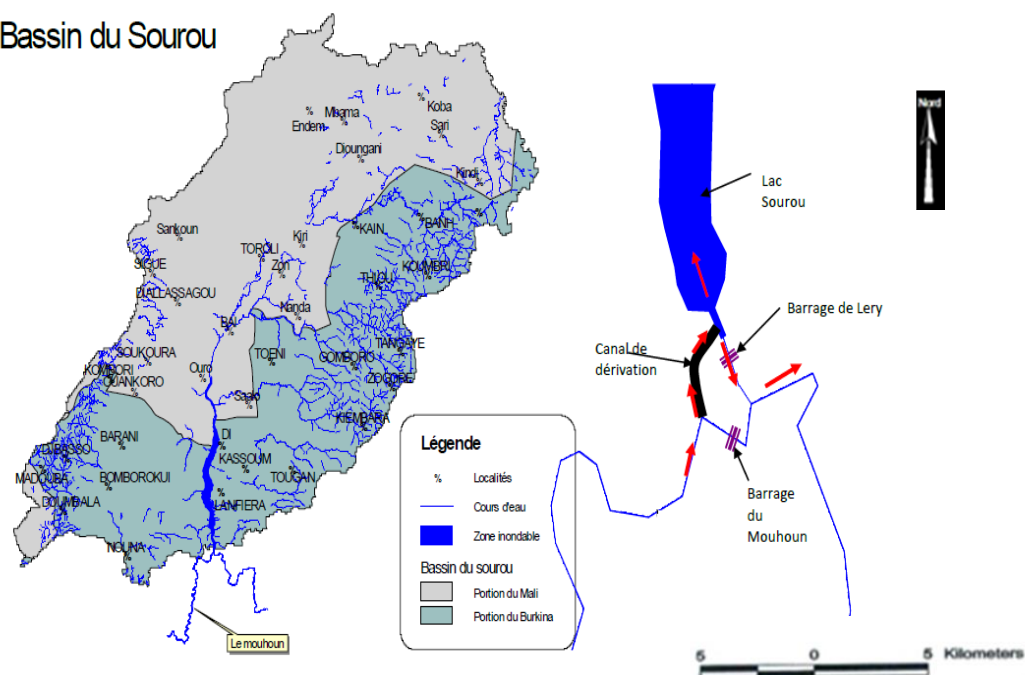


Figure 6: Schéma du fonctionnement du fleuve Sourou

Chapitre III : Méthodologie générale de l'étude

L'approche méthodologique constitue la base de tout travail scientifique en ce sens qu'elle permet de mieux comprendre l'étude. En effet la taille des aménagements de la vallée du Sourou en maîtrise totale (3818ha), a conduit au choix d'un périmètre représentatif des aménagements et sur lequel l'étude s'est focalisée. Les résultats obtenus à partir de ce périmètre sont susceptibles d'extrapolation à l'échelle de la vallée du Sourou toute entière.

Le choix de ce périmètre irrigué représentatif des périmètres irrigués de la vallée du Sourou, s'est opéré sur les critères objectifs suivants :

- l'accessibilité du périmètre en toute période ;
- la taille du périmètre relativement importante ;
- la diversité des sols dans le périmètre ;
- la diversité des spéculations sur le périmètre ;
- le dynamisme des producteurs ;
- le degré d'exploitation, totale à chaque campagne ;
- le dynamisme de la coopérative.

De l'application de ces critères, le périmètre irrigué gravitaire de Gouran (540ha) est choisi comme le périmètre irrigué représentatif de notre étude.

III.1 Présentation du périmètre irrigué gravitaire de 540 ha de Gouran

Le périmètre irrigué est situé à proximité du village Gouran, à environ 220km au nord-ouest de Ouagadougou, à 41 km à l'ouest de Tougan et à 7 km au sud-ouest de Niassan. Il est situé dans le département de Lanfiera, Province du Sourou dans la région de la Boucle de Mouhoun. L'accès au périmètre est assuré par la route latéritique R17 reliant Tougan à Lanfiera sur 41km puis la route latéritique reliant Lanfiera à Di jusqu'au village de Gouran sur environ 4km. A partir du village Gouran, le périmètre est accessible par une piste en terre qui longe la limite nord du bloc C puis le chenal d'amenée (entre les blocs A et B) jusqu'à l'ouvrage de fermeture au niveau de la digue de protection. La figure 7 présente la carte de localisation du périmètre.

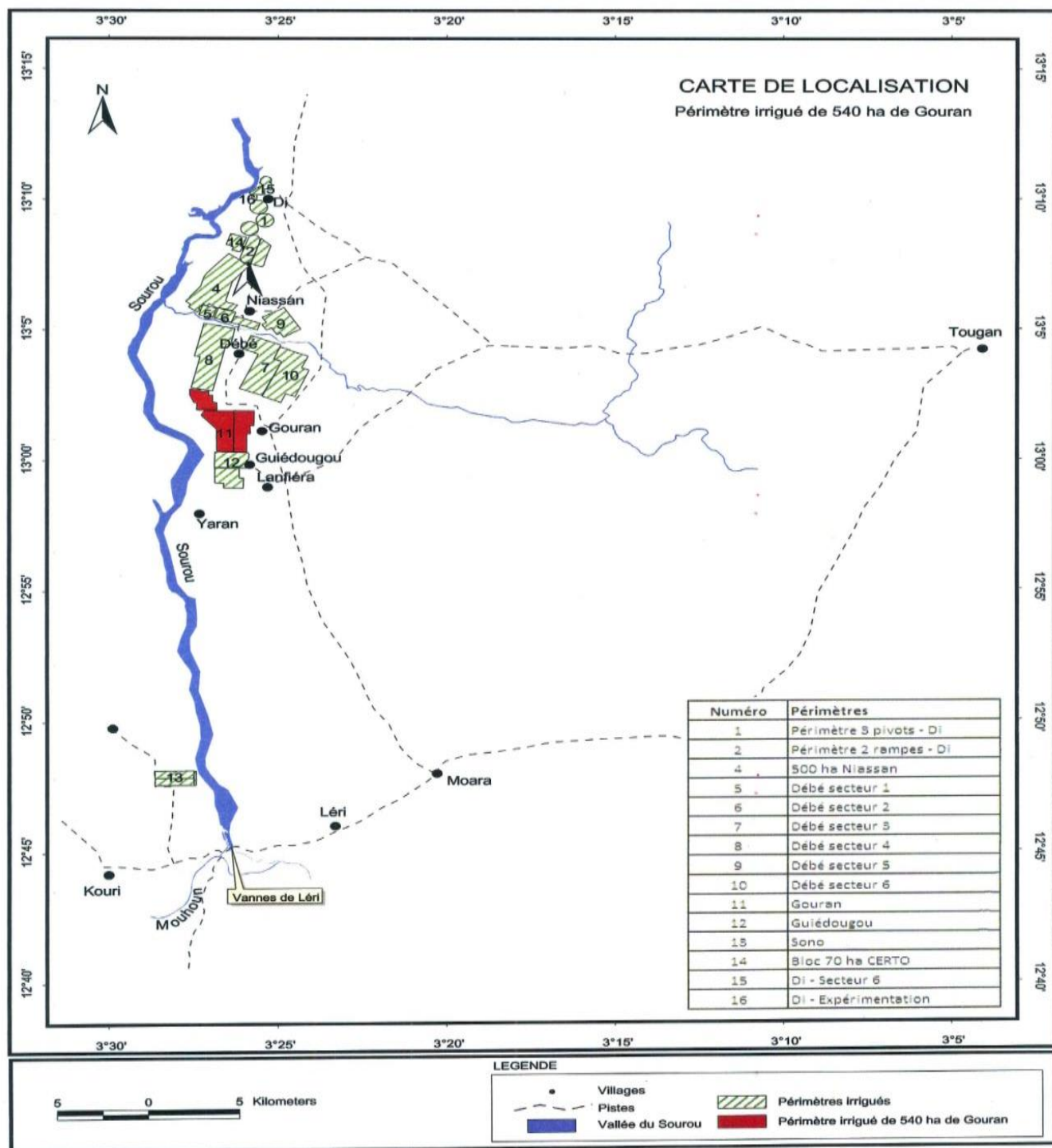


Figure 7: Carte de localisation du périmètre Irrigué de Gouran (AMVS, 2010)

III.2. Mode de fonctionnement hydraulique du périmètre irrigué de Gouran

Le périmètre irrigué de Gouran dans la vallée du Sourou appartient au type d'aménagement par dérivation au fil de l'eau et comprend un réseau hydraulique divisé en trois blocs (A, B, C) permettant son fonctionnement. Les trois blocs A, B, C présentent des superficies nettes respectivement égales à 134 ha, 207 ha et 203 ha. Chaque bloc dispose d'une station de pompage. L'irrigation du périmètre se fait à partir du fleuve Sourou. L'eau est déviée gravitairement jusqu'aux stations de pompage par un canal d'amenée en terre. Ce mode de fonctionnement est pratiquement le même au niveau de la majorité des périmètres irrigués par gravité de la vallée. Au niveau de ce périmètre, la desserte en eau des parcelles se fait du canal principal vers les canaux secondaires les quelles desservent les canaux tertiaires. Ces derniers assurent la répartition d'eau entre les parcelles qu'ils dominent.

Ainsi, le remplissage des canaux se fait à deux niveaux. Premièrement, au niveau du canal principal et deuxièmement, au niveau du canal secondaire.

III.2.1 Spéculations dans le périmètre de Gouran

Le périmètre Gouran est un périmètre à vocation polyculture ou on y produit du riz, du maïs et des oignons.

III.2.2 Besoin en eau

Le riz est une plante qui a besoin de suffisamment d'eau pour son développement. En effet, selon Romain (2001) les besoins en eau du riz en termes d'évapotranspiration se situent généralement entre 400 et 800 mm en fonction des conditions climatiques et de la durée du cycle. La floraison et la période la plus critique. Quant au cas spécifique du riz irrigué il faut 1000 à 1500 mm compte tenu des pertes par percolation. En moyenne, les besoins en eau à pomper dans le périmètre de Gouran sont de 12800 m³/ha pour le riz, et 2400 m³/ha pour le maïs et 550mm soit 5500 m³ pour l'oignon (AMVS, 2012).

III.2.3 Besoin en fertilisant

En effet en riziculture aquatique le riz répond généralement bien à la fertilisation surtout azotée si la lame d'eau est maintenue dès le début de la culture. Mais pour maintenir ces rendements il faut nécessairement relever le niveau de fertilité des sols pauvres et compenser les exportations d'éléments minéraux consommés par la récolte du grain et de la paille (Dobelman, 1976) d'où l'importance de la fumure. Ainsi dans la Vallée du Sourou les doses appliquées en riziculture irriguée sont les suivantes :

- ♦ En saison humide: 200 kg de NPK au repiquage, 100 kg d'urée 19 jours après repiquage et 100 kg d'urée avant l'initiation paniculaire ;

- ◆ En saison sèche : 200 kg de NPK au repiquage, 100 kg d'urée 19 jours après repiquage et 100 kg d'urée avant l'initiation paniculaire.

Or les résultats des travaux de Yaro (1995) recommandaient les doses suivantes/

- ◆ En saison humide : 300 kg de NPK au repiquage, 35 kg d'urée 19 jours après repiquage et 65 kg d'urée avant l'initiation paniculaire ;
- ◆ En saison sèche : 300 kg de NPK au repiquage, 75 kg d'urée 19 jours après repiquage et 75 kg d'urée avant l'initiation paniculaire.

III.2.4 Les sols de riziculture irriguée

Les sols aptes à la riziculture irriguée sont des sols profonds, très argileux donc très peu perméables, ayant une capacité de rétention en eau élevée et une capacité d'échange cationique élevée. Le sol idéal doit contenir 50 à 60% de particules fines de limons et d'argiles. Il doit avoir une perméabilité très faible de façon à éviter les pertes d'eau par drainage souterrain (Bationo, 1994). Pendant la culture, le riz est inondé et le sol se trouve en situation anaérobie; la vie microbienne est faible. Par ailleurs le riz résiste à des doses élevées de sel marin jusqu'à 7% de NaCl (Poussin et *al.*, 2002) et s'accommode à des variétés considérables de pH de 4,5 à 8,7, mais pousse mieux sur les sols acides.

III.3 Approche méthodologique

L'originalité de cette étude réside dans l'évaluation des causes qui minent la productivité du périmètre irrigué de Gouran. Une analyse du management du périmètre s'impose. Quand un périmètre irrigué est créé, sa réussite passe nécessairement par le respect du paquet juridico-technologique qui gouvernent son exploitation.

Une évaluation du niveau de fertilité des sols du périmètre et de la qualité de l'eau d'irrigation permet une lisibilité sur la problématique de la productivité. L'influence d'une nappe perchée préjudiciable à la production agricole dans le périmètre est une approche à vérifier. Pour atteindre les objectifs assignés à cette étude, le travail est subdivisé en quatre principales étapes :

1-La Gouvernance agricole consacre l'analyse des acteurs dans la chaîne de production et leur attribution. Elle doit aussi identifier l'arsenal juridico-technologique nécessaire à la production agricole. La recherche documentaire est la méthode utilisée pour atteindre cet objectif.

2-La maintenance agricole, comme instrument de sécurisation de la production agricole.

Dans cette partie, la méthodologie procède par diagnostic des ouvrages hydrauliques du périmètre suivi d'une enquête auprès des acteurs. Ce qui permettra de susciter leurs réactions

sur l'état de fonctionnement du périmètre. La détermination des indicateurs de diagnostic permet de comprendre le degré de satisfaction et d'adhésion des producteurs au management du périmètre irrigué. Cette méthodologie d'étude procède aussi par la visite et les constats sur le terrain des états des infrastructures hydrauliques.

3- Une caractérisation pédologique du périmètre pour apprécier le niveau de fertilité des sols. La méthodologie utilisée procède par la définition d'un transect sur lequel seront positionnés des profils pédologiques. Ensuite des prélèvements des échantillons seront effectués dans chaque horizon pour des analyses physico-chimique au laboratoire. Des mesures de vitesse d'infiltration suivant la méthode de Muntz seront effectuées autour de chaque profil pour apprécier l'infiltrabilité des différents sols. Un échantillonnage de l'eau d'irrigation sera prélevé dans les canaux d'irrigation et des parcelles pour une caractérisation physico-chimique.

4- L'évaluation de l'influence de l'hydrologie sur la production agricole dans le périmètre sera possible par l'installation des piézomètres tout le long du transect pédologique et des relevés seront effectués au pas hebdomadaire. Enfin, des essais fertilité pour évaluer les éléments limitant le rendement des cultures seront mis en place. Les recommandations sur la formulation des engrais seront faites à l'endroit des producteurs à partir des résultats obtenus. Elles permettront sans nul doute d'améliorer le rendement et optimiser le revenu des producteurs.

Cette méthodologie générale sera détaillée dans les différents chapitres de façon à avoir une précision sur l'activité menée dans le cadre de cette étude.

Deuxième partie : La gouvernance et la maintenance agricole

Chapitre IV: La gouvernance agricole dans le périmètre irrigué de Gouran

La Gouvernance agricole consacre l'analyse des acteurs de la chaîne de production et leur attribution. Elle doit aussi vérifier les outils de la gouvernance et conclure sur l'adhésion des producteurs à ceux-ci.

IV.1 Méthode d'étude

Elle constitue la base de tout travail scientifique en ce sens qu'elle permet de mieux comprendre l'étude. Elle est triviale.

IV.1.2 Phase préparatoire

Elle a consisté à rencontrer les différents responsables des Directions du ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques à Ouagadougou ainsi que le directeur de l'autorité de mise en valeur de la vallée du Sourou (AMVS). Les premiers échanges ont porté sur l'historique des aménagements hydro agricoles du Sourou en général et le périmètre irrigué gravitaire de Gouran en particulier, le management de ces aménagements et surtout l'impact de ces aménagements par rapport aux objectifs de leur création.

IV.1.3 La recherche documentaire

Elle s'est déroulée tout au long de l'étude. Les documents ont été mis à notre disposition par les services du Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques ainsi que la direction générale de l'AMVS.

IV.1.4 Les travaux de terrain

Ils se caractérisent par la visite sur la vallée du Sourou particulièrement à Niassan, base de l'antenne de l'AMVS. Des échanges avec les différents services y représentés ont eu lieu et des informations et documents ont été collectés. Des rencontres sous forme de focus groupe avec les producteurs à Gouran ont été effectuées. Les échanges ont porté sur les principaux points suivants :

-  Les aspects organisationnels,
-  Les aspects agro économiques,
-  Les aspects genres,
-  Les aspects production/productivité,
-  Les aspects financiers...
-  Les aspects commercialisation

En vue de mieux maîtriser certains aspects techniques, un guide d'entretien a été élaboré (annexe 6)

IV.1.5 Le traitement et l'analyse des données

Les données collectées tant dans la bibliographie que sur le terrain ont été traitées avec les logiciels Excel et Word 2010.

IV.2 Résultats et Discussion

IV.2.1 Identification des acteurs et leurs attributions

Les différentes investigations ont permis d'identifier l'organisation des acteurs de la production dans la vallée du Sourou en général et dans le périmètre de Gouran en particulier. Le tableau 3 résume l'organisation des acteurs et leurs attributions.

Tableau 3 : Répartitions des acteurs et leurs attributions

Acteurs	Attributions
Etat	Gestion globale du périmètre et allocation des rôles
AMVS	Structure décentralisée de l'Etat en charge de la gestion du périmètre
Coopératives	Exploitation et Fixation des prix des produits
Promoteurs agro-business	Au nombre de 18, ils exploitent des grandes superficies
Producteurs	Ils sont les principaux acteurs de gestion de l'eau et de la fertilité à la parcelle

Structurellement, on note que tous les acteurs de la production agricole sont en place dans le périmètre de Gouran (tableau 3). Trois coopératives (Faso kadi : 134 ha, Sababouyouma : 206 ha, OES Gouran : 203 ha) sont chargées de la gestion du périmètre, en collaboration avec l'AMVS. Les coopératives communiquent au début de chaque campagne leur budget prévisionnel à l'AMVS au niveau de la DAPVA. Les conseillers techniques procèdent aux examens des différentes rubriques notamment la vérification de l'irrigation sur la base de la durée de fonctionnement des stations. Aussi, au fur et à mesure que la campagne avance, les conseillers techniques procèdent aux opérations suivantes :

- vérification des emblavures sur le terrain,
- participation des responsables techniques aux réunions hebdomadaires du comité de gestion, pour la restitution des observations dans le cas où elles ont lieu et le suivi des activités des coopératives.

A la fin de chaque campagne, un bilan de déroulement de campagne est dressé par la coopérative, auquel sont invités les représentants de l'AMVS notamment les responsables technique des périmètres. Le type de gestion est une cogestion. Le fonds de roulement de

l'Organisation paysanne (OP) provient des redevances d'entretien. Ce fonds est destiné à l'entretien des ouvrages hydrauliques du périmètre. Les redevances sont prélevées directement au moment du remboursement des crédits d'intrants. Ce qui fait que tous les producteurs versent régulièrement les redevances d'entretien. Mais l'analyse de la gouvernance agricole dans le périmètre montre que les rapports entre ces acteurs sont conflictuels. La question du rôle de l'état dans la dévolution reste posée. Nous pensons comme Mathieu (2001) que l'un des rôles essentiels de l'Etat par rapport à l'irrigation serait d'organiser les conditions de cette négociation sociale afin qu'elle débouche sur des solutions locales, adaptées, adaptables et viables. Or la mise en place des coopératives (loi N° 014/99/AN du 15 avril 1999) rentre dans le cadre de la gestion participative qui ne saurait être dissociée de la politique de désengagement de l'Etat sous le programme d'ajustement structurel des années 90. Les coopératives ont été donc imposées aux producteurs sans qu'ils soient consultés sur la nécessité de leur création. Les règles constitutionnelles qui permettent de définir le statut de membre d'une coopérative n'ont pas reçu l'adhésion des producteurs. La plus part de ces producteurs sont venus d'ailleurs. Les autochtones les qualifient de « colons » dont l'Etat a favorisé l'installation pour l'exploitation des périmètres. Ils avaient donc obligation de cohabitation avec les autochtones et d'être enrôlés dans les coopératives sans qu'ils sachent les règles opérationnelles qui définissent comment agir, sur quoi le faire, quand et sous quelle forme ? Les processus de décision collective, situant qui a défini les règles et comment elles peuvent être modifiées dans le temps sont ignorés par les producteurs. Tout cela corrobore avec le résultat de Dialla (2003) qui a examiné les différents textes régissant les périmètres irrigués. Les premiers résultats de l'enquête au Sourou montrent que l'exploitation paysanne des terres hydro agricoles est un véritable dilemme. D'une part, une législation qui sécurise prioritairement les investissements publics, de l'autre, des exploitants désorientés par des textes qu'ils connaissent très mal et qui ne les sécurisent nullement dans leur exploitation. Il faut noter que les coopératives manquent d'expérience, le transfert assez brutal et sans concertation de responsabilités depuis les sociétés d'Etat vers les producteurs comme les soulignent Abernethy et Sally (1999) ; Jamin *et al.* (2005) sont en partie un frein à la production agricole. Le modèle de transfert à l'office du Niger est plutôt considéré comme un succès (Bonneval, 2002 ; Coulibaly *et al.*, 2006) du fait qu'il a suivi des étapes et surtout le renforcement préalable des compétences des producteurs. Dans le périmètre de Gouran, on note dans une certaine mesure que la participation des producteurs dans le centre des décisions est considérée comme alternative, du coup il y a un sentiment de chacun pour soi. Ce qui fait d'ailleurs que les décisions prises par les coopératives sont

bafouées. Cela est en rapport avec les travaux de Hunt (1989). La fixation des prix du kilogramme de riz par les coopératives ne fait pas l'unanimité entre les producteurs. En effet certains producteurs préfèrent vendre en fonction de l'offre du marché. Cela est contraire à la pensée de

Lavigne-Delville (1997) qui estime que la gouvernance renvoie aux processus de décisions. Le bon fonctionnement d'une organisation dépend en partie de sa structure (c'est-à-dire de la manière dont les tâches et les responsabilités sont réparties entre ses membres) et en partie de son mode de gestion (c'est-à-dire de la manière dont les décisions sont prises au sein de la structure établie). A ce niveau nous constatons que les coopératives ne seraient pas préparées à l'exécution de leurs obligations. Ce qui confirme les résultats de Zahry et My Rachid, (2002).

IV.2.2 Indicateur de Performance sociale et durabilité

Les performances du périmètre irrigué ne peuvent pas être uniquement jugées en termes techniques et économiques. Nous avons choisi quelques indicateurs qui permettent aussi d'illustrer le niveau de participation sociale, de dynamique de développement et de durabilité de l'irrigation (Tableau 4). L'exercice a consisté à recueillir les réactions des 36 producteurs choisis sur la base de leur ouverture d'esprit et leur dynamisme.

Tableau 4: Évaluation qualitative d'indicateurs sociaux et de durabilité du périmètre

Site	Participation des usagers	Dynamique actuelle	Durabilité infrastructure	Problème de sols	Impact de la nappe	Rongeurs
Périmètre irrigué de Gouran	-	+	-	=	-	++

++ : Très important ; + : important ; = moyen ; - : faible ;

Ce tableau indique le comportement des producteurs par rapport aux indicateurs de performances. On constate que les producteurs s'intéressent de moins en moins aux travaux d'intérêt commun. Le manque des compétences spécialisées dans la maintenance des infrastructures du périmètre les fragilise. Le périmètre irrigué de Gouran nécessite une forte participation et coordination des usagers pour gérer un calendrier d'irrigation et assurer l'entretien des canaux. La création de la coopérative a pour but de permettre la participation des producteurs à la réalisation de programmes des travaux, à la gestion, à la conservation des

ouvrages et à l'utilisation de l'eau d'irrigation. Actuellement, la participation de la coopérative est très diverse et souvent insuffisante. Les résultats demeurent non satisfaisants comme le note El Alaoui (2004). L'exploitation d'un périmètre irrigué implique certaines contraintes, notamment le respect des dates de semis par quartier d'irrigation, l'utilisation de l'eau conformément au tour d'eau et l'entretien des équipements qui n'est possible que si les irrigants sont en véritables groupements comme l'a dit Sagardoy (1987). En somme, les lois générales doivent devenir moins hostiles, plus utiles au développement communautaire. Elles doivent permettre la reconnaissance de la propriété locale sur les ressources et promouvoir des régimes de cogestion véritable. Les populations doivent avoir un droit de participation effectif dans la gestion des ressources dont elles dépendent. Il faut éviter les solutions militaires au profit des solutions communautaires, ce qui corrobore les points de vue des nombreux auteurs qui s'accordent pour dire qu'il n'y a pas de solution technique standard, mais plutôt une synergie entre les avancées techniques, organisationnelles et sociales (Abernethy et Sally, 1999 ; Legoupil *et al.*, 1999 ; Poussin et Boivin, 2002 ; Poussin *et al.*, 2005 ; Vandersypen *et al.*, 2006).

Au regard de cette discussion, nous constatons que les autorités ont des difficultés à faire respecter les textes statutaires dans le périmètre de Gouran. La durabilité du périmètre est problématique : faute d'entretien courant suffisant, l'aménagement doit être régulièrement réhabilité.

Chapitre V : La Maintenance agricole dans le périmètre irrigué de Gouran

Dans un périmètre irrigué, la maintenance agricole est un ensemble d'activités qui touche à :

- l'entretien et la réparation des machines, des équipements hydrauliques ;
- l'entretien des installations électriques ;
- l'entretien des systèmes de drainage et d'irrigation ;
- l'entretien des routes (avec ou sans revêtement).

L'objectif assigné à ce chapitre est de montrer l'impact de la maintenance agricole dans l'exploitation du périmètre irrigué de Gouran.

La méthodologie utilisée pour atteindre cet objectif passe par le diagnostic agricole.

Il s'agit d'apprécier l'état de fonctionnement des ouvrages hydrauliques du périmètre afin d'apporter les améliorations nécessaires. La démarche adoptée pour l'analyse diagnostique comporte différentes étapes : collecte des données disponibles, constats de terrain au niveau périmètre, mesure des paramètres de diagnostic et de performance des systèmes d'irrigation.

V.1 Matériel et méthode

V.1.1 Matériels

Les matériels suivants ont été utilisés :

- un guide d'entretien pour les enquêtes socio-économiques ;
- un appareil photographique pour illustrer les cas ;
- un décamètre pour prendre les caractéristiques de certains ouvrages ;
- un GPS pour le géo-référencement du périmètre et des points de sondage ;
- une tarière pour les sondages pédologiques et le suivi de la fluctuation du niveau de la nappe phréatique ;

V.1.2 Méthodes

L'approche MARP (Méthode Accélérée de Recherche Participative) a été retenue pour cette étude. Elle a conduit à :

- l'interview et des focus groups qui ont permis d'établir une certaine familiarité et la confiance avec les producteurs, ambiance nécessaire pour l'obtention des informations sincères sur leurs degrés de satisfactions et leurs attentes par rapport à la gestion hydraulique du périmètre, l'accompagnement par l'AMVS.... ;
- des visites et des inspections des infrastructures agricoles ;
- des mesures de débit en tête et à chaque nœud hydraulique afin de déterminer l'efficience du réseau

- la détermination des paramètres d'irrigation tels que la dose appliquée, efficience d'application, uniformité de distribution etc...
- des mesures sur les différents canaux, drains et ouvrages à l'aide du triple mètre, afin de déterminer la largeur au plafond, la profondeur et les dimensions des ouvrages annexes ;
- relever des anomalies existant sur les réseaux ;
- localiser des points du réseau ;
- photographier les ouvrages du périmètre.

V.1.2.1 Formulation des indicateurs de diagnostic

Pour traiter ces informations, notre choix s'est porté sur un certain nombre d'indicateurs de diagnostic ci-dessous :

- Degré d'application des sanctions (DAS)

$$DAS = (NSE / NSP) \times 100$$

Avec : NSE = nombre de sanctions exécutées

NSP = nombre de sanctions prises à l'AG

L'indicateur DAS renseigne sur l'application du règlement intérieur.

- L'équité dans la distribution de l'eau (eq)

$$Eq = NEN / NEE$$

Avec : NEN = nombre d'exploitants non satisfaits

NEE = nombre d'exploitants de l'échantillon

Eq renseigne sur la collaboration dans le respect du tour d'eau et la programmation de la distribution.

- Suivi du tour d'eau (STE)

$$STE = QSTE / NTQ$$

Avec : QSTE = nombre de quartiers hydrauliques ou bloc sans respect du tour d'eau

NTQ = nombre total de quartiers hydrauliques

STE permet de mesurer la satisfaction en matière de collaboration dans le respect des tours

- Maîtrise du planage parcellaire (MPP)

$$MPP = PBP / NP$$

Avec : PBP = nombre parcelles bien planées et NP = nombre total des parcelles

L'Indicateur MPP donne des renseignements en matière de formation sur les thèmes d'agriculture.

- Dose globale d'irrigation (DG)

$DG = V_{pi}(m^3)/10 \times Se(ha)$, avec V_{pi} = volume prélevé pour l'irrigation ; Se = superficie emblavée.

L'indicateur DG renseigne sur le suivi des prélèvements d'eau pour l'irrigation en fonction des superficies emblavées.

V.1.2.2 Choix des indicateurs de performance du système d'irrigation

A partir des données collectées par entretiens, par revue documentaire, nous pouvons évaluer les indicateurs de performances suivants :

- Le rendement (R)

$$R = \frac{\text{Production (tonne)}}{\text{surface emblavée (ha)}}$$

L'indicateur R renseigne sur la détermination du niveau de production visé en début de campagne ; le suivi de la production et des superficies emblavées.

- L'intensité culturale (IC)

$$IC = \frac{\text{superficie annuelle emblavée}}{\text{superficie aménagée}} * 100$$

L'Indicateur IC renseigne sur le suivi de la production et des superficies emblavées

- Production par unité d'eau d'irrigation consommée (PbIr)

$$PbIr = \frac{\text{production brute}}{\text{volume d'eau d'irrigation}}$$

PbIr permet d'évaluer le suivi de la production et de prélèvement de l'eau d'irrigation.

- Calcul du débit (Q) transporté par le Canal Primaire (CP)

$$Q = V * S, \text{ avec } S = y * (b + m * y)$$

Avec Q = débit (m^3/h), Y = tirant d'eau, b = largeur, m = rugosité

- Taux de collecte de redevance (RR)

$$RR = \frac{\text{Montant total collecté pour la campagne}}{\text{Montant total dû}}$$

- Redevance par unité de valeur de production brute (RVPb)

$$RVPb = \frac{\text{Redevance collectée pour la campagne}}{\text{Valeur de la production brute}}$$

- Redevance par unité de valeur de production nette (RVPn)

$$RVPn = \frac{\text{Redevance collectée pour la campagne}}{\text{Valeur de la production - charges}}$$

RVPH et RVPn permettent d'apprécier la collecte et la gestion des redevances eau.

V.1.2.3 Traitement des données

Le tableur Excel a été déterminant pour le traitement des données collectées suivi Microsoft office Word 2007.

V. 2 Résultats

Les résultats sont constitués des constats faits sur l'état de dégradation des infrastructures du périmètre. Les résultats des indicateurs de diagnostics et de performances sont résumés dans les tableaux 5 et 6 (annexe 1).

V.2.1 Constats dans le chenal d'amenée

Le chenal d'amenée des eaux du Sourou est un canal en terre de section trapézoïdale exécuté en déblai sur le terrain naturel. De l'ouvrage de contrôle jusqu'à la station de pompage du bloc C, le chenal est long de 3 km. Il présente les dégradations suivantes :

- dégradation de perré maçonné de protection du chenal au niveau du bloc A et B
- le premier tronçon du chenal entre la digue de protection et le bloc A est exécuté dans un sol argileux, ce qui fait que les berges sont soumises à l'érosion et au glissement provoquant son envasement. L'arborisation excessive des berges du chenal provoque des chutes dans le canal et perturbe l'écoulement photo 5.



Photo 5: coté amont d'un chenal sur le Sourou (Adjéffa, 12/10/2013)

V.2.2 Constats au niveau de la Digue de protection

La digue de protection du périmètre contre les crues présente des dégradations de sa crête et au niveau talus. Par ailleurs la montée excessive des crues ces dernières années exige que sa hauteur soit rehaussée. Les producteurs font la prévention chaque année en la rechargeant avec des sacs remplis des terres photo 6.

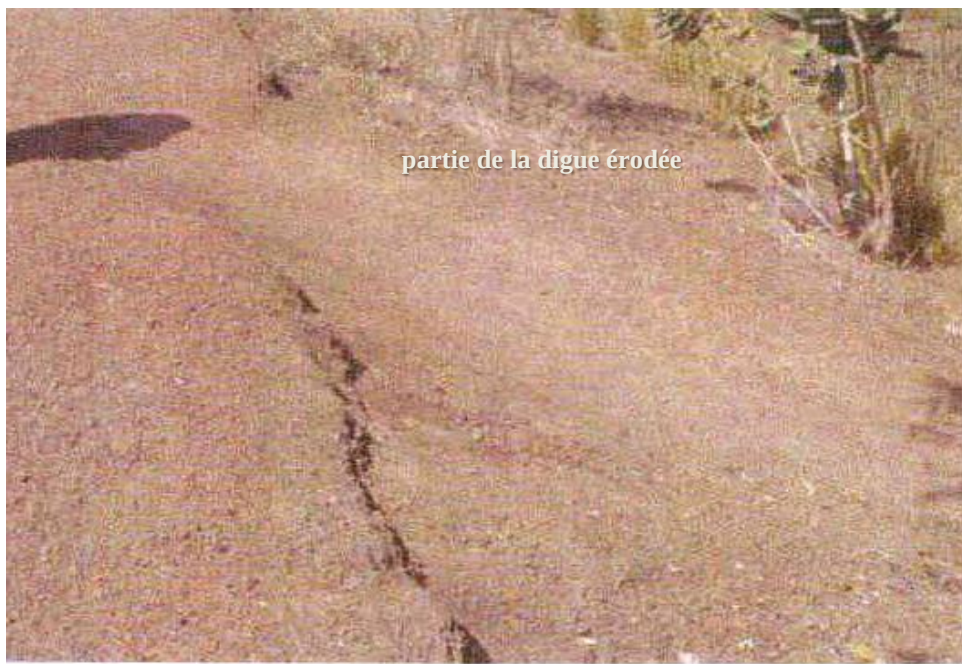


Photo 6: dégradation du remblai de la digue (Adjeffa, 05/04/2013)

V.2.3 Constats au niveau de la Station de pompage

Les stations de pompage sont équipées de vis d'Archimède à auge métallique constituant la machine élévatoire, refoulant les eaux du chenal vers le canal principal. Cette vis est entraînée par un moteur à diesel par un système de transmission par courroie avec un réducteur de vitesse. Le diagnostic révèle :

- l'absence de carnet d'entretien de la station et aucun manuel d'entretien des équipements n'est disponible ;
- l'absence des pièces de rechanges ;
- les producteurs se plaignent des pannes répétitives ;
- la vis est dépourvue de toute protection ;
- le local manque d'entretien, avec une toiture dégradée photo 7.



Photo 7: désordre dans le local (Adjeffa, 12/10/2013)

V.2.4 Constats au niveau du canal principal

Les canaux primaires présentent une section trapézoïdale de 1m de largeur de base, 1,6m de profondeur et une largeur au plafond de 4,2m. Ils prennent respectivement leur source au niveau de chaque station de pompage et longe tout le bloc. Les points de prélèvement sont contrôlés par des modules à masques dont les débits sont fonction de la demande en eau en aval. Une plaque de calage du débit sur laquelle on lit 30 l/s ; 60 l/s et 90 l/s est implantée au niveau de la prise principale du canal primaire ; Le débit moyen transportable par le canal primaire est de 60 l/s. Le diagnostic des canaux primaires montre que les prélèvements d'eau dans un canal principal doit correspondre au débit de la station de pompage, en vue de maintenir un plan d'eau à une charge suffisante au fonctionnement des modules. Sur le périmètre de Gouran ces prélèvements sont supérieurs au débit de la station et le constat est que la réserve initiale du canal s'épuise rapidement et par conséquent, le plan d'eau dans le canal baisse en dessous du plan nominal des modules, jusqu'à atteindre presque les seuils des modules. Dans cette situation, les modules sont mal alimentés et desservent des débits inférieurs aux débits prévus programmés pour une bonne conduite d'irrigation. Ceci, se traduit par des sous alimentations au niveau canaux tertiaires en trainant une perturbation au niveau de la programmation des irrigations. Cette baisse de niveau de la lame d'eau dans les canaux amène les irrigants à bloquer l'écoulement afin de rehausser le niveau de cette lame d'eau dans le canal (voir photo 8).Ce constat est fait dans tous les trois blocs du périmètre.



photo 8 : Batardeau, nénuphar sur le canal (Adjeffa, février 2013)

V.2.5 Constats au niveau des canaux secondaires

Le bloc A est constitué de deux canaux secondaires : Le CSA1 et le CSA2 construits en section trapézoïdale de largeur à la base de 0,5m et de profondeur de 0,75m avec une pente longitudinale uniforme sur leur trajet estimée à 0,05%. Ils alimentent les canaux tertiaires contrôlés par des modules à masque. Le contrôle du plan d'eau dans ces canaux est assuré par un déversoir de décharge à seuil latéral exécuté en fin de chaque canal.

Le diagnostic de ces canaux montre de décrochages des panneaux (photo 9); détachement des joints engendrant des fuites d'eau importante.



Photo 9: panneau décroché (Adjeffa, février 2013)

V.2.6 Constats au niveau des canaux tertiaires et quaternaires

Dans le périmètre irrigué, les canaux tertiaires en terre sont articulés sur les canaux secondaires revêtus. Ces canaux sont conçus pour véhiculer une main d'eau de 30l/s alimentant des arroseurs à l'intérieur des quartiers d'irrigation. Les arroseurs articulés sur des canaux tertiaires qui les dominent sont des canaux en terre conçus pour alimenter les parcelles qu'elles dominent à travers des vannettes disposées sur les diguettes des arroseurs. Le diagnostic des canaux tertiaires et des arroseurs montre que les canaux en terre sont envahis par des herbes ce qui perturbe l'écoulement. De plus, les opérations de curage par les producteurs ont contribué à modifier leur section et pentes (photo 10). L'absence des vannettes de prise amène les agriculteurs à fermer les prises avec de la terre prélevée sur les diguettes des canaux.



Photo 10: canal tertiaire en terre (Adjeffa, 12/10/2013)

Les prises partiteurs sont de différentes portions en fonction de l'emplacement de la prise du canal tertiaire dans le sens d'écoulement d'eau au niveau du canal secondaire. A chaque prise tertiaire, correspond au niveau de l'ouvrage partiteur, une position du flasque de séparation pour repartir le débit de pompage en proportions égales sur l'ensemble des canaux tertiaires d'un même secondaire (photo 11). Le flasque permet de séparer la portion de longueur du déversoir correspondant à la main d'eau du tertiaire du reste de la longueur du déversoir de l'ouvrage, laquelle devant transiter le reliquat du débit vers l'aval de la prise considérée. Le nombre de positions du flasque correspond au nombre de prise de dérivation du secondaire réduite d'une unité. Par conséquent, le nombre d'ouvrages partiteurs est inférieur d'une unité par rapport au nombre de prises, car, la dernière prise ne possède pas d'ouvrage de répartition étant donné que la répartition de débit se fait au niveau de l'avant dernière prise.



Photo 11 : flasque placé à $\frac{1}{4}$ de la loge pour le prélèvement de $\frac{1}{4}$ du débit transité

V.2.7 Constats relevés au niveau des ouvrages de franchissement

Les ouvrages de franchissement présentent des dépôts importants réduisant la section de passage d'eau et dans certains cas presque obstrués (voir photo 12) Le curage et le nettoyage de ces ouvrages doivent être entrepris d'une manière préventive au démarrage de la campagne et d'une manière curative chaque fois que l'écoulement d'eau se trouve perturbé. Il en va de même des regards des déversoirs



Photo 12: Puisard d'un passage rempli de roches (Adjeffa, février 2013)

V.2.8 Constats relevés sur le réseau d'assainissement

Ces réseaux permettent d'évacuer les eaux excédentaires du réseau d'irrigation ainsi que les eaux pluviales. Ils sont hiérarchisés en colatures tertiaires, colatures secondaire et colatures principales. Les eaux d'assainissement sont recueillies successivement par les drains quaternaires, tertiaires, secondaires et principaux qui conduisent l'eau drainée vers l'exutoire qui généralement est le chenal d'adduction de la station de pompage. Le diagnostic du réseau montre que les réseaux d'assainissement ont perdu leurs caractéristiques hydrauliques à cause de la présence des mauvaises herbes et des boues.

Les travaux de curages des drains quaternaires devront être entrepris par les exploitants. Chacun doit s'occuper de la colature en face de son exploitation. Il en sera de même pour les colatures tertiaires qui feront l'objet de travaux collectifs par les exploitants d'un canal tertiaire.

V.2.9 Constats relevés sur le réseau de circulation

L'intérêt de ces pistes et le rôle qu'elles jouent dans l'activité agricole d'un périmètre irrigué ne sont pas à démontrer. Ces pistes permettent l'accès à toutes les parcelles à travers le périmètre, assurent le transport des productions et la circulation des engins agricoles. Le diagnostic révèle que des tronçons de pistes sont devenus impraticables, en raison de l'état du réseau d'assainissement complètement enherbé et dont les sections d'écoulement ont été réduites, engendrant des débordements des eaux de drainage sur les pistes (photo 13).

Cette situation, s'accroît pendant les périodes pluvieuses, où la majorité de ces pistes deviennent inaccessibles, et encore difficilement praticables pendant les périodes sèches à cause des ornières laissées par les véhicules et charrettes.



Photo 13 : débordement des eaux de drainage sur la piste (Adjeffa, 12/10/2013)

V.2.10 Constats relevés sur le nivellement des parcelles

L'état de surface des parcelles est dans la quasi-totalité des cas mal nivelé. Ce défaut de nivellement rallonge le temps d'irrigation. Or les dotations sont assez souvent insuffisantes à la satisfaction totale et homogène de la parcelle. Une parcelle sur trois présente des points de stagnation de l'eau d'irrigation et des difficultés de transport de l'eau. Devant cette situation certains agriculteurs ont mis en place des diguettes séparant la parcelle en deux de façon à arroser alternativement les deux parties.

V.3 Difficultés actuelles dans la distribution d'eau d'irrigation

Sur le terrain, de nombreuses difficultés ont été observées sur le déroulement de la distribution d'eau d'irrigation au niveau du périmètre de Gouran. Ces difficultés pouvant être classées en catégories, sont liées, en un premier lieu, aux comportements des usagers, et en deuxième lieu, à l'état des infrastructures.

V.3.1 Difficultés dans la distribution d'eau par des modules

La nature de conception des canaux principaux montre un mode de distribution d'eau d'irrigation bien déterminé. En effet, ces canaux sont d'une section trapézoïdale unique sur toutes leurs longueurs et possèdent des pentes nulles, jouant ainsi le rôle de réservoir. En outre, l'absence des ouvrages particuliers au niveau de ces canaux principaux, notamment les ouvrages de régulation ou d'autres ouvrages particuliers, montre que le mode de répartition d'eau entre les canaux secondaires obéit à certaines règles de distribution pour le fonctionnement des modules qui y sont installés.

V.3.2 Difficultés dans le remplissage du canal principal

L'une des premières opérations de distribution au niveau du périmètre de Gouran est la répartition d'eau par des modules, elle procède au remplissage du canal principal par la station de pompage à partir du chenal d'adduction. Le remplissage complet du canal a lieu quand le niveau d'eau arrive ou dépasse légèrement la hauteur nominale des modules qui y sont installés photo 14.



Photo 14: canal principal dotée de prises modulées (Adjeffa, 12/10/2013)

Le diagnostic effectué sur le terrain a montré que les modules qui sont installés sur les canaux principaux ont une hauteur nominale de 28 cm et une amplitude de marnage de 23 cm pour des variations de débit de $\pm 5 \%$ (photo 15).

Une fois que la hauteur nominale des modules est atteinte, elle est de 28 cm au-dessus du seuil, l'aiguadier procède aux ouvertures des modules du canal principal (les prises secondaires) pour le remplissage des canaux secondaires.

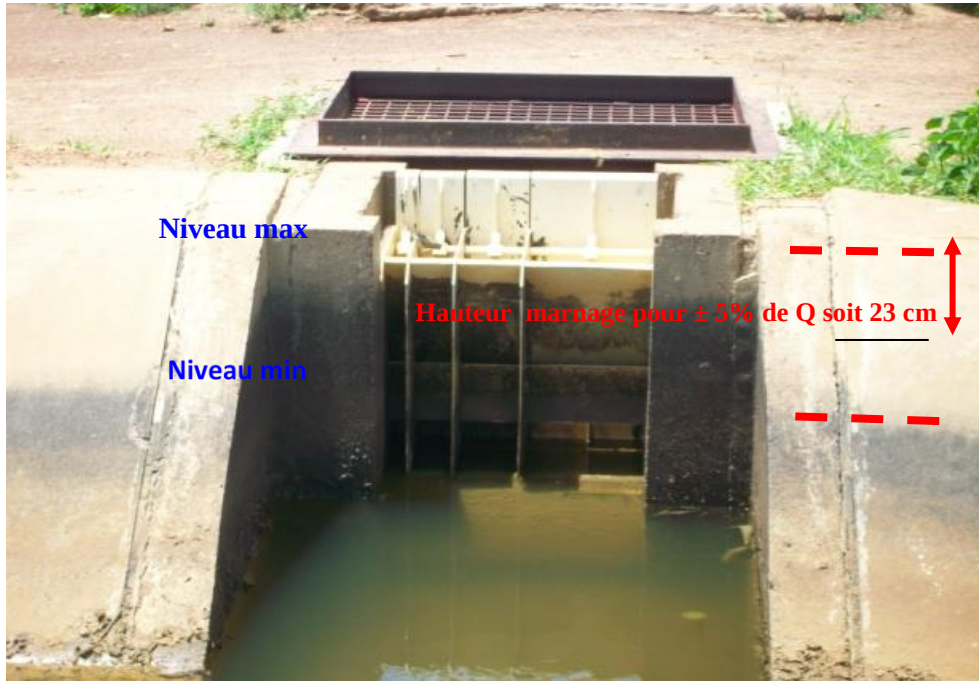


Photo 15: amplitude de marnage d'un module xx2 (Adjeffa, 12/10/2013)

V.3.3 Difficultés dans le remplissage des canaux secondaires

Le remplissage des canaux secondaires se fait de la même manière que les canaux principaux. Les prises modulées installées sur les canaux secondaires sont maintenues fermés lors de la phase de remplissage jusqu'à l'atteinte de leur niveau nominal qui est de 17 cm au-dessus du seuil (photo 16).



Photo 16 : prise modulée alimentant le canal 2ndaire (Adjeffa, février 2013)

V.3.4 Répartition du débit au niveau du canal tertiaire

Le débit livré en tête du canal tertiaire qui est de 30 l/s, est partagé au niveau du partiteur, en deux mains d'eau de 15 l/s chacune, Cette répartition est assurée par des partiteurs (photo 17)

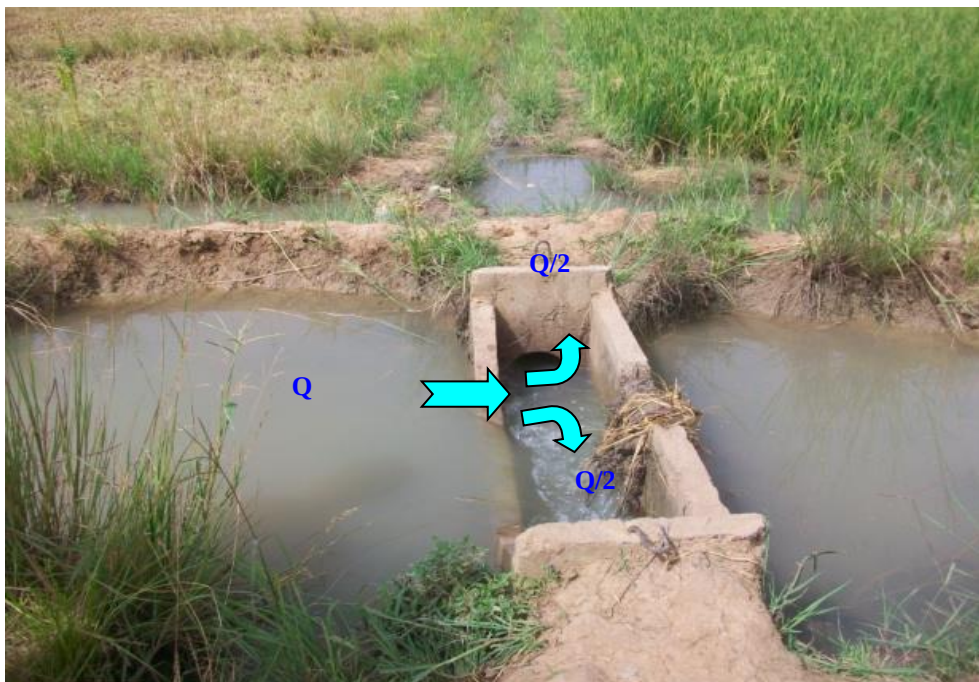


Photo 17: ouvrage de répartition au niveau du canal tertiaire Adjeffa,12/10/2013)

V.3.5 Les canevases hydrauliques de remplissage de canaux

Le canevase hydraulique de remplissage des canaux pour satisfaire les conditions de distribution est de deux natures. Un canevase avec un remplissage des canaux principaux et secondaires. Ce mode de remplissage des canaux a lieu au niveau de la majorité des périmètres irrigués par gravité de la vallée. Au périmètre de Gouran, la desserte en eau des parcelles se fait du canal principal vers les canaux secondaires lesquels desservent les canaux tertiaires. Ces derniers assurent la répartition d'eau entre les parcelles qu'ils dominent. Ainsi, le remplissage des canaux se fait à deux niveaux : le canal principal et ensuite le canal secondaire. La figure 6 illustre cette hiérarchisation des canaux.

V.3.6 Insuffisances des débits des stations de pompage

Les moteurs des stations de pompage ont une durée de fonctionnement très avancée depuis (1984). Ce qui entraînant des pannes fréquentes et des chutes de rendement se traduisant par une faiblesse des débits de pompage. Ces débits ne permettent plus actuellement de conduire le tour d'eau comme prévue initialement en période de pointe. Aussi, Les pannes prolongées des groupes entraînent l'abandon de certaines parties des terres. Ce qui conduit à la réduction certaine de la production agricole (photo 18).



Photo 18: moteur diesel abandonné au niveau de la station de pompage au bloc C
(Adjéffa, février 2013)

V.3.7 Absence d'une programmation des ouvertures des prises modulées

Les prélèvements d'eau d'irrigation au niveau des prises modulées se font anarchiquement sans aucune programmation préalable, du fait que les paysans se permettent l'ouverture des modules du canal tertiaire, à n'importe quel moment de la journée durant la période des irrigations. En principe, les prélèvements d'eau dans le canal principal correspondent aux débits de la station de pompage, en vue de maintenir un plan d'eau à une charge suffisante au fonctionnement des modules. Cependant, lorsque les prélèvements correspondant à la somme des vannettes ouvertes au niveau de l'ensemble des modules du canal, sont supérieurs au débit fournie par la station, la réserve initiale du canal s'épuise rapidement et par conséquent, le plan d'eau dans le canal baisse en dessous du plan nominal des modules, jusqu'à atteindre presque les seuils des modules. Dans cette situation, les modules sont mal alimentés et desservent des débits inférieurs aux débits prévus programmés pour une bonne conduite d'irrigation. Ceci, se traduit par des sous-alimentations au niveau canaux tertiaires entraînant une perturbation de la programmation des irrigations.

Il en va de même lorsque les prélèvements des canaux tertiaires à partir du canal secondaire sont supérieurs au débit livré en tête du secondaire, la même situation du canal principal se répète au niveau du canal secondaire. Il y a également le cas où le prélèvement dans les canaux secondaires est inférieur au débit fourni. Dans cette situation la variation en volume entre les prélèvements au niveau des canaux tertiaires et le débit fournie en tête du secondaire se traduit par une accumulation d'eau au niveau du canal secondaire. Cette accumulation entraîne la surélévation du plan d'eau et entraîne ce qui suit :

- une suralimentation des modules des canaux tertiaires,
- des débordements par endroit au niveau du canal secondaire,
- déversements au niveau des ouvrages de sécurité malgré sa surélévation par les paysans.

Cette situation engendre des pertes en eau se traduisant par un surcoût de pompage et une accumulation des pertes d'eau au niveau du réseau de drainage qui par manque de travaux d'entretien, inonde les pistes et cause leurs dégradations (photo 19).



Photo 19: niveau d'eau élevé dans le canal secondaire (Adjeffa, 21/12/2012)

V.3.8 Prélèvements anarchiques d'eau d'irrigation par siphonage

La pratique du siphonage est très répandue au niveau des périmètres irrigués gravitaires de la vallée du Sourou. Pour ce qui est du périmètre de Gouran, cette pratique a lieu dans les canaux principaux vers les secondaires. Les prélèvements par siphonage se font aussi à partir du canal principal directement aux parcelles les longeant. Ce siphonage leur permet de contourner à la fois le tour d'eau et le passage par le canal tertiaire (photo. 20).



Photo 20: siphonage d'eau dans le laire (Adjeffa, 21/12/2012)

V.3.9 Renforcement du débit de la prise modulée du tertiaire

Ces prélèvements sont réalisés en parallèle à l'ouverture de la prise modulée au motif que le module n'arrive pas à débiter le débit nécessaire qui est de 30 l/s, en raison de la baisse du plan d'eau du canal voir photo 30 (photo 21).



Photo 21: le renforcement du débit du module (Adjeffa, 21/03/2012)

Ces prélèvements anarchiques sans respect du tour d'eau, entraînent souvent une augmentation de la demande en eau largement supérieure au débit lâché en tête du canal secondaire, ce qui conduit à un épuisement rapide de la réserve d'eau dans le canal se traduisant par une baisse du plan d'eau. Cette baisse du plan d'eau passe en dessous de la hauteur nominale du module et par conséquent ne permet pas d'avoir le débit initialement prévu par le module qui est de 30 l/s. Cette baisse d'eau arrive même en dessous du masque du module entraînant ce dernier à fonctionner au niveau le plus bas. Ce qui démontre avec certitude que le module est mal desservi en eau et n'est pas dans les conditions normales de fonctionnement. La photo 31 montre l'espace vide entre le niveau de la lame d'eau et le masque du module indiquant que le module fonctionne en déversoir et la hauteur nominale d'eau n'a pas été atteinte photo 22.



Photo 22 : module sous-alimenté fonctionnant en déversoir (Adjeffa, 21/10/2012)

Les figures 8 et 9 montrent la différence entre la situation de fonctionnement des modules en déversoir et celle du fonctionnement en conditions normales. La figure 10 montre la courbe de fonctionnement du module des prises tertiaires et l'amplitude de marnage correspondant à la variation de niveau d'eau dans le canal entre le plan minimum et maximum.

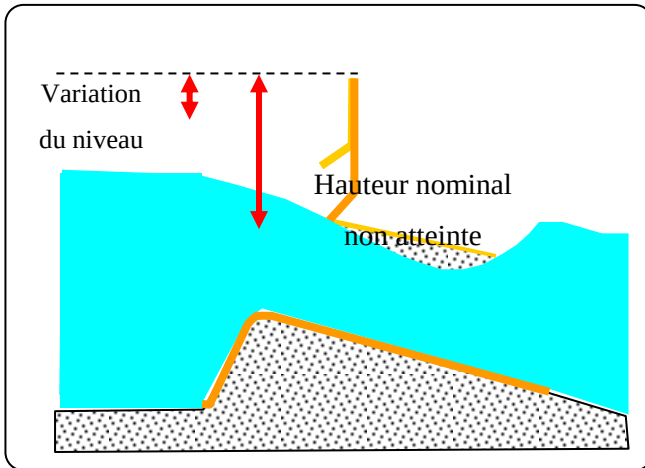


Figure 8: Schéma montrant le fonctionnement normal du module

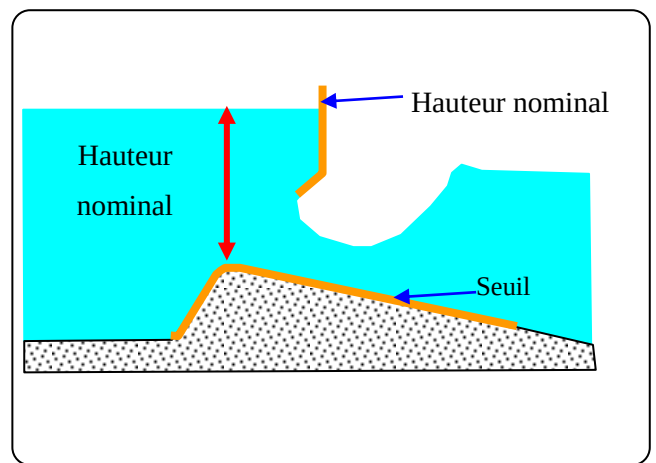


Figure 9: Schéma montrant le fonctionnement du module déversoir

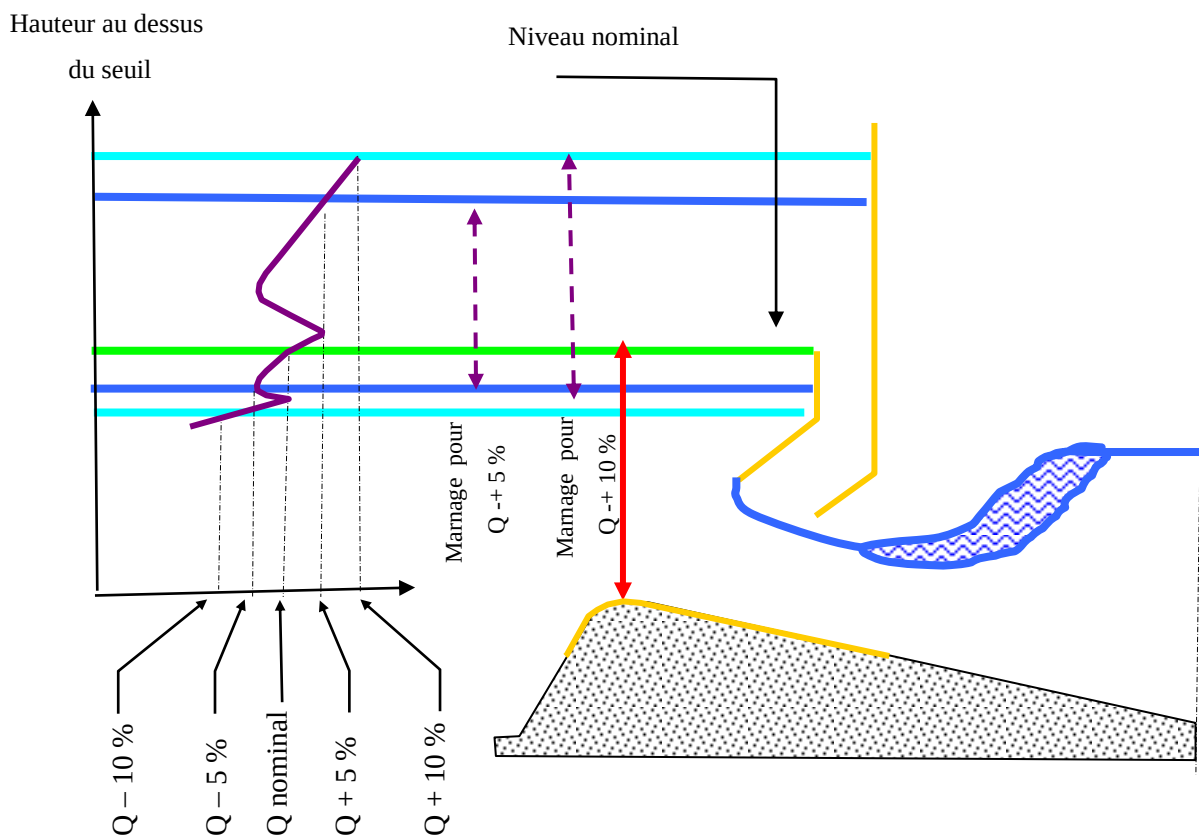


Figure 10: Schéma du principe de fonctionnement d'un module à deux masques

V.3.10 Conséquence du prélèvement anarchique

Les prélèvements anarchiques entraînent des sous-alimentations des modules fonctionnant ainsi à de faible débit. Une fois le module est sous-alimenté, le débit livré à son niveau devient largement inférieur au débit nominal qui est de 30 l/s. Ce débit ne permet pas d'achever l'irrigation de la parcelle durant la journée comme prévue initialement par le projet d'aménagement. Le temps nécessaire pour apporter la dose d'irrigation devient alors important. Ce qui nécessite un prélèvement parallèle pour compléter la dose. Dans ces conditions, les paysans ont tendance à sur irriguer la parcelle, ce qui entraîne de nouvelles pertes d'eau venant s'ajouter aux pertes par infiltration.

L'augmentation de durée d'irrigation entraîne un débordement sur le programme prévu au niveau du canal tertiaire ce qui entraîne des changements du tour d'eau.

La perturbation de l'irrigation entraîne des pertes d'eau, outre celle perdue au niveau de la parcelle, celles correspondant aux remplissages des canaux. A ceci s'ajoute les volumes d'eau correspondant aux surirrigations, ce qui entraîne en fin de compte, un dépassement de la durée de fonctionnement de la station par rapport aux volumes d'eau d'irrigation réellement nécessaires. Ces augmentations des durées de fonctionnement engendrent des consommations supplémentaires en gasoil et lubrifiant. Cela se traduit par une augmentation des charges de fonctionnement des stations de pompes auxquelles se répercutent sur la trésorerie du paysan.

V.3.11 Facteurs d'ordre organisationnel

La dégradation observée particulièrement au niveau des modules et du réseau d'assainissement provient des comportements des paysans qui ne considèrent pas le rôle important de ces ouvrages. Il y a lieu de signaler qu'outre les facteurs précités l'insuffisance des moyens financiers, matériels et humains affectés à la fonction maintenance a été à l'origine d'un cumul important des opérations à entreprendre en matière de maintenance des réseaux d'irrigation et d'assainissement. En effet, jusqu'à présent, la maintenance des réseaux d'irrigation et de drainage a été reléguée au second plan. Ceci pour donner la priorité à l'équipement de nouveaux périmètres. Les coopératives chargées de l'entretien des différents équipements, se limitent aux réparations habituelles des stations de pompage. Cette situation s'est traduite par un retard important dans la maintenance des réseaux. Les moyens financiers que mobilisent les coopératives pour la maintenance des réseaux d'irrigation et de drainage étaient à peine suffisants pour pallier uniquement aux interventions les plus urgentes des stations de pompes qui conditionnent la distribution de l'eau d'irrigation. Ces crédits alloués annuellement, suffisent à peine pour l'achat des pièces de rechange simples. Sur le

terrain, de nombreuses difficultés ont été observées sur le déroulement de la distribution d'eau d'irrigation au niveau du périmètre irrigué. Ces difficultés pouvant être classées en catégories, sont liées, en un premier lieu, aux comportements des usagers, et en deuxième lieu, à l'état des infrastructures. Tout a conduit dans un cercle vicieux (figure11)

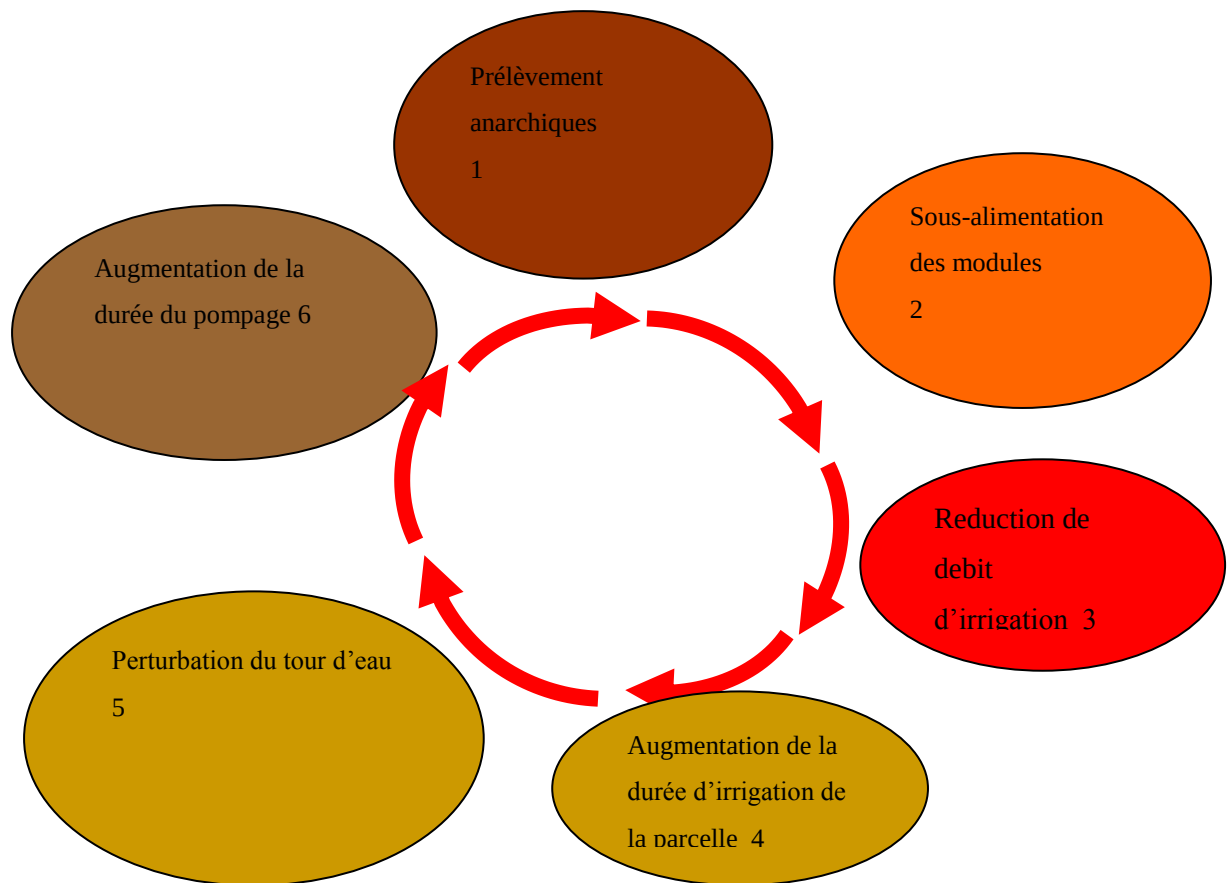


Figure 11: Schéma expliquant le cercle vicieux du prélèvement anarchique de l'eau d'irrigation

V.4 Résultats des indicateurs de diagnostic et de performances

Les résultats obtenus à partir des indicateurs de diagnostic et de performances sont regroupés dans le tableau 5.

Tableau 5: indicateurs de diagnostic obtenus.

Indicateurs de diagnostic					Indicateurs de Performances				
DAS	Eq	STE	MMP	DGm ³ /ha	RVPB%	RR%	PBIr	R	IC
0%	66%	66%	27%	12800m ³ /ha	%1,6%.	100%	0,46Kg/m ³	3,95T/ha	98 et 100%

Le volume prélevé pour l'irrigation (V_{pi1}) s'élève à **$V_{pi1} = 1500\text{mm}$ ie $15000\text{m}^3/\text{ha}$ soit $8100000\text{m}^3/\text{campagne}$**

Le tour d'eau, les producteurs du bloc n°3 ne sont pas satisfaits du tour d'eau et se plaignent du comportement des producteurs des deux premiers blocs qui manipulent les vannettes pour des prises anarchiques. Le taux du non suivi du tour d'eau (STE) est donc de **$STE = 66,66\%$** . Les 2/3 des producteurs ne suivent pas le tour d'eau.

L'équité dans la distribution de l'eau (eq) à partir de l'échantillon interviewé, il se dégage une insatisfaction dans l'équité de distribution d'eau. Et le taux d'insatisfaction est de : **$eq = 66\%$** . A cela s'ajoute le fait que la distribution d'eau qui doit se faire d'aval en amont sur un tertiaire n'est pas respectée par les producteurs.

La Dose globale de l'irrigation (DG), le calcul effectué par l'AMVS donne une dose globale de **$DG = 1280 \text{ mm}$** .

Le taux de planage : Le diagnostic physique a permis de déterminer qu'une parcelle sur trois est mal planée. Ce qui nous donne un taux de « mauvais » planage de 33%.

L'approvisionnement relatif en eau (RWS), il a été calculé exclusivement pour le riz qui est la principale spéculation de contre saison. La valeur obtenue est de **$RWS = 1,3$** .

Le débit calculé à partir de la vitesse moyenne d'eau dans le primaire est de **83 l/s** .

Le rendement : il a été calculé à partir des données fournis par les 36 producteurs enquêtés. La spéculation considérée est le riz, qui est uniformément cultivé en saison hivernale. La valeur obtenue est de **$R = 3,95 \text{ t/ha}$** ; l'encadrement technique donne 4t/ha.

En saison de pluies les 540ha sont emblavés, c'est qui correspond à une IC de 100%, par contre pendant la campagne de contre saison 2013, le bloc A est emblavé à 100%, par contre 7ha au bloc B et 3ha au bloc C n'ont pas été emblavés c'est qui donne une intensité Culturelle IC de $530/540 = 0.98$ soit 98%. Pour l'année 2013, on obtient une moyenne de 99%.

La Production Brute par unité d'eau d'Irrigation (PbIr): pour le maïs, les données fournies par l'encadrement technique ont permis de la déterminer, en supposant bien sûr que tout le périmètre en est emblavé. Le résultat obtenu est : **PbIr = 0,46 kg/m³**. Le taux de récupération des redevances pour entretien est : **RR = 100% pour le riz**. Pour le maïs, il est fonction du nombre de parcelles mises en culture. La Redevance eau et Valeur de Production brute, RVPb pour le maïs est de 1% celui du riz est de 1,1%. La Redevance eau et Valeur de Production nette pour les 540 ha (emblavée en riz) est de 1,6%.

Tableau 6: Comparaison des indicateurs de diagnostic et de performance avec les Valeurs de référence de PMI-BF/IMMI

Valeurs du périmètre de Gouran	Valeurs plateau central Burkina (références) d'après PMI-BF	Observations
MPP = 33 %	MPP ₀ = 100 %	Les 33% indiquent le nombre de parcelles mal planées, alors que les 100 % de référence indiquent ce qui devrait être bien planées
STE = 66 %	STE ₀ = 5 %	Le non suivi du tour d'eau ne devrait pas dépasser les 5 % ; il l'est de 66% au périmètre de Gouran
Eq =66 %	Eq ₀ = 10 %	Le taux de producteurs mécontents de l'équité ne devrait pas dépasser les 10 % ; il est de 66 % à Gouran
DAS = 0%	DAS ₀ = 100%	L'OP n'arrive pas à appliquer les sanctions conformément aux textes de l'organisation.
DG = 1280 mm en contre- saison	DG ₀ = 800 mm pour le maraichage de contre-saison	La dose globale est supérieure à la moyenne requise, ce qui justifie les besoins en eau des cultures en SS

En saison des pluies les 540 ha sont emblavés, c'est qui correspond à une IC de 100%, par contre pendant la campagne de contre saison 2013, le bloc A a été emblavé à 100%, par contre 7ha au bloc B et 3ha au bloc C n'ont pas été emblavés, ce qui donne une intensité culturale IC de 530/540=0.98 soit 98%. Pour l'année 2013, on obtient une moyenne de 99%. Les entretiens ont révélé qu'aucune sanction n'a jamais été prise et appliquée. Cela traduit le manque d'application du règlement intérieur du périmètre.

Ce sont 36 producteurs qui constituent l'échantillon interviewé (douze par bloc). Huit producteurs du bloc A, huit du bloc B et huit du bloc C soit vingt quatre²⁴ producteurs sont insatisfaits de l'équité dans la distribution de l'eau, autrement dit 66% des producteurs sont insatisfaits de l'équité dans la distribution d'eau.

Le non-respect du suivi du tour d'eau qui s'élève à 66% s'explique souvent par les pannes intempestives des stations de pompage. Quand il y a une panne qui dure 2 ou 3 jours, la parcelle qui devait être irriguée au cinquième jour du tour d'eau normale doit attendre le septième ou huitième jour. C'est pourquoi si cette parcelle est proche du canal qui devait la desservir, le producteur préfère le raccourci en siphonnant l'eau dès la reprise de la station en attendant son tour. Dramane, un producteur du bloc C à ce sujet dit : « quand on a faim, on grouille pour trouver à manger, la méthode importe peu, pourvu qu'on trouve à manger ». 10 parcelles sur 36 sont mal planées. Les producteurs ont recours à une technique qui consiste à sectionner la parcelle en autant des parties qui présentent un niveau plus ou moins uniforme. Cette pratique a pour corollaire la diminution évidente des superficies à emblaver, donc pourrait contribuer à la baisse de la production sur la parcelle.

V.5 Synthèse de la réaction des acteurs

V.5.1 Synthèse des points de vue des producteurs

Enrôlés dans des coopératives ou simples ouvriers agricoles, les villageois de Gouran autrement appelés, les gens du terroir, se réfèrent toujours au droit coutumier et acceptent mal le nouveau droit foncier qu'ils assimilent à un système spoliateur. Les points de vue de 36 producteurs enquêtés sur 820 choisis de façon raisonnée sont synthétisés comme suit.

Pour les producteurs, le sol est « fatigué » et les rendements sont en baisse avec moins de 3 tonnes à l'hectare. L'engrais ne suffit jamais car son prix est très élevé.

Au niveau hydraulique, la campagne de contre saison est pratiquée en maîtrise totale tandis que celle d'hivernage l'est en irrigation d'appoint.

Le réseau d'irrigation et de drainage existent mais sont mal entretenus et dégradés par endroit. Les producteurs imputent la faute à la coopérative qui, disent-ils, ne met pas suffisamment des moyens pour leurs remises en état et leurs entretiens. Et pourtant renchérit Mr SAWADOGO, un producteur du bloc A, « nous payons la redevance de façon nette c'est-à-dire 120000 F en contre saison et 50000F en campagne d'hivernage. Chacun doit faire son travail.

Les machines sont souvent en pannes et le tour d'eau n'est pas respecté. Malgré cette mauvaise qualité de service, nous ne bénéficions d'aucun allègement dans le paiement de la redevance. Comment voulez-vous qu'on ne siphonne pas l'eau ? Qu'on participe aux travaux

d'entretien des réseaux de façon volontaire ? De plus la coopérative n'est pas en mesure de nous garantir un prix d'achat, nous sommes à la merci de commerçants véreux qui nous imposent leur prix d'achat ».

V.5.2 Points de vue des coopératives

Les coopératives existent sur chaque périmètre irrigué avec de statut et règlement qui régissent leur fonctionnement. Le président de la coopérative du bloc A de Gouran estime qu'il n'est pas facile de manager. Le tour d'eau existe et est de 5 jours reconnaît le président. Les pannes intempestives des machines l'allonge et les producteurs ne sont pas patients. Pour lui la vétusté des machines entraîne un coût de maintenance élevé. La redevance collectée couvre à peine les frais de maintenance et de fonctionnement (gaz, huile, lubrifiants) alors que les producteurs refusent désormais le « fasobara » c'est-à-dire les travaux d'intérêt commun. La coopérative doit faire d'autres efforts pour l'entretien du réseau de drainage, quand elle ne peut plus, ce dernier reste dans un état de dégradation et d'enherbement que tout le monde connaît. De plus nous sommes débordés par le lobbying des commerçants qui refusent nos propositions de prix, pendant que les producteurs eux même ne nous soutiennent pas. Disent ils « nous n'avons pas les mêmes problèmes, chacun vend en fonction de ces problèmes ». Le fond de roulement de la coopérative provient des redevances eau. Ce fond est destiné à l'entretien des ouvrages hydrauliques du périmètre. Les redevances sont prélevées directement au moment du remboursement des crédits d'intrants. Ce qui fait que tous les producteurs versent régulièrement leurs redevances.

V.5.3 Point de vue des Conseillers agricoles et de l'AMVS

Pour Heitein (2013), conseiller du bloc A, les producteurs ne respectent pas les calendriers culturaux, en occurrence le calendrier de semis et de repiquage. Cela se répercute sur la programmation des irrigations. Le problème, dit-il, est que les besoins en eau des cultures varient avec leurs stades de développement. Lorsqu'il y a une forte disparité dans le cycle, il est difficile de satisfaire les besoins réels des cultures et c'est la production qui prend un coup. Nous travaillons pour un changement des comportements mais il faut du temps, renchérit-il. Aussi longtemps que les producteurs ne respecteront pas les itinéraires techniques, la production aura « des plombs dans les ailes » dans le Sourou.

V.5.4 Points de vue de l'appui Technique (AMVS)

Pour le service de l'AMVS représenté par BORO Adama, chargé d'appui à la production et à la valorisation agricole, les contraintes d'exploitations des aménagements du Sourou se résument aux points suivants :

L'enclavement de la vallée de Sourou;

La vétusté de certains périmètres, avec des pannes récurrentes des stations de pompage;

Le problème de commercialisation des produits agricoles;

Un problème majeur qui en suit est que le secteur privé d'approvisionnement en intrants, d'achat des produits et de crédit ne se développe pas aussi rapidement que prévu, ce qui rend difficile l'épanouissement des producteurs.

V.6 Discussion

Comme l'on peut le noter à travers cette synthèse, il y a une mauvaise entente entre les acteurs de la mise en valeur du périmètre de Gouran. Cela pourrait être dû à un manque de dialogue entre ces acteurs. Or tout périmètre irrigué est géré par une organisation ayant pour mission d'en assurer le bon fonctionnement et la pérennité. L'organisme de gestion doit se doter des moyens pour assurer ses missions de base : l'exploitation et la maintenance d'ouvrages.

La mission d'exploitation consiste à faire fonctionner le service de l'eau c'est à dire assurer son transport, sa distribution dans un cadre contractuel défini avec tous les acteurs du périmètre. C'est dans ce sens que Sagardoy, (1987) dit, La gestion d'un périmètre, sera d'autant plus efficace que ses administrateurs bénéficieraient d'un environnement favorable à la prise de décision. Par contre, si certaines conditions ne sont pas remplies, leur tâche peut se révéler extrêmement difficile.

A cet égard les conditions les plus importantes sont les suivantes :

- le réseau d'irrigation doit être judicieusement conçu ;
- la structure organisationnelle doit être adaptée à la nature du périmètre ;
- les objectifs généraux doivent être cohérents et bien définis ;
- le système de gestion doit être bien étudié (processus administratif détaillé, description de postes, système d'information et de suivi) ;
- les politiques de recrutement, de productivité et de salaires du personnel doivent être suffisamment motivantes pour favoriser la réalisation des objectifs du projet ;

- un soutien financier adéquat doit être prévu pour les dépenses récurrentes, les ressources provenant soit de crédits gouvernementaux, soit des droits d'eau soit encore d'une combinaison des deux ;
- les moyens juridiques voulus doivent être mis en place pour garantir l'application effective de la réglementation touchant à la distribution de l'eau.

Tous ces éléments, poursuit l'auteur, font partie intégrante de l'organisation du périmètre et doivent recevoir la plus grande attention.

Abordant à son tour les problèmes de dysfonctionnement des périmètres irrigués, (dont les conséquences sont néfastes à la production agricole). Tokpa (1996) relève sur le périmètre irrigué d'Agome - glozou l'inorganisation administrative, et déclare qu'elle a pour conséquences : le non-entretien des infrastructures hydro-agricoles comme c'est le cas observé aussi sur le périmètre de Gouran.

La mission de maintenance des ouvrages consiste à l'entretien de tous les équipements au sens large, allant jusqu'à la mise en œuvre d'actions d'amélioration pour assurer la pérennité de l'aménagement, en tenant compte des évolutions techniques, économiques et sociologiques. La maintenance puisqu'il s'en agit, parlons-en. Selon la norme NF60010, la maintenance se définit comme l'ensemble des activités destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management.

Les aménagements hydro agricoles du Sourou, dont celui de Gouran, sont implantés dans une zone géographique éloignée des sites industriels, ce qui crée une contrainte de transport et de déplacement ayant des conséquences spécifiques sur la maintenance des équipements et sur l'organisation. Pour certaines opérations techniques telle que de grosses réparations de maintenance, la coopérative doit faire recours à Ouagadougou (capitale du pays) pour la sous-traitance car l'environnement économique local en matière d'entreprises privées proches et adaptées n'est pas développé pour le permettre. Ce recours induit un temps et un coût de maintenance important. Ce qui justifie que la redevance eau couvre à peine la maintenance au détriment des autres opérations d'entretien tels que le réseau d'irrigation et d'assainissement. Déplus le retard accusé pour l'intervention de l'équipe technique venant de Ouagadougou rallonge de façon substantielle le tour d'eau, ce qui déclenche chez les producteurs un mépris vis-à-vis de la coopérative et aux règles de la gouvernance dans le périmètre. La relation entre

la coopérative qui est en fait l'organisme de gestion et les irrigants, en ce qui concerne la fourniture d'eau est de type « administration-usager ». Dans ce cas, c'est la coopérative à travers l'AMVS qui fixe la règle du jeu sans qu'il y ait véritablement d'obligation des résultats de sa part. L'irrigant, usager doit se plier à ces règles et à la qualité du service telle qu'elle existe et peut difficilement se retourner contre l'organisme en cas de fourniture déficiente. A partir de ce moment l'irrigant se permet certains actes tel que le siphonage de l'eau puisque le tour d'eau n'est pas véritablement respecté. Des sanctions sont certes prévues dans le règlement intérieur du périmètre, mais elles ne sont que statutaire comme le disent les producteurs : « Si nous payons la redevance pour que le tour d'eau ne soit pas respecté, alors la solution est dans le siphonage car les cultures ne patientent pas ». L'organisme consciente de sa déficience rappelle le règlement sans l'appliquer.

Notre approche en la matière est qu'il faut passer du type de relation « administration – usager » au type de relation « fournisseur – client ». Dans cette relation, fournisseur et client sont liés par des obligations réciproques, qui est en général un contrat. De part ce contrat l'utilisateur doit respecter certaines règles quant au bon fonctionnement des équipements et doit payer sa redevance ; mais il est en droit d'attendre une qualité de service spécifiée (volume, débit, pression marges de défaillance, durée maximum de coupures éventuelles.....) et peut éventuellement demander des dommages et intérêt si cette qualité n'est pas respectée. L'organisme de gestion d'un périmètre n'est pas une fin en soi, mais un moyen, parmi d'autres moyens, pour atteindre une fin. Quelle que soit la technique d'irrigation utilisée, le but final est d'avoir une récolte de qualité supérieure et une productivité élevée. Pour cela la bonne conception du réseau, sa bonne exécution et la pratique judicieuse des irrigations sont de première importance. Les travaux d'entretien qui ont pour objet de garder l'infrastructure du réseau et les ouvrages en bon état de fonctionnement sont souvent négligés. Ce fait a toujours amené à la baisse du rendement et a conduit à la réduction du profit qu'on peut tirer des techniques d'irrigation. L'entretien du réseau de drainage ne reçoit pas toute l'attention qu'il mérite dans le périmètre de Gouran.

L'AMVS trouve plus facilement des crédits pour l'achat des équipements que pour les entretenir. Vu les faibles vitesses de l'eau et les faibles tirants d'eau dans les canaux de drainage, ces derniers sont rapidement envahis par la végétation qui réduit les capacités d'écoulement. La dégradation des berges des canaux de drainage est accentuée lors d'abreuvement des bétails. Les programmes d'entretien sont établis en fonction de la disponibilité financière du gestionnaire car les producteurs refusent le « fasobara ». L'irrigation est indispensable à la riziculture et permet le contrôle de la production ainsi que la

rentabilisation de cette culture. Les riziculteurs doivent rationaliser l'usage de l'eau car comme l'écrit la FAO (1994) : "le riz est la céréale la plus coûteuse à produire compte tenu de ses exigences en eau, en aménagements..."Une carence en eau entraîne souvent de mauvais rendements. Dans le but de faciliter la programmation des irrigations, une uniformisation des calendriers culturels et le respect notamment les délais des labours et de semis au niveau des canaux tertiaires et secondaires est nécessaire. Ceci, en vue d'avoir les cultures au même stade de développement avec les mêmes besoins d'eau et donc les mêmes programmes d'irrigation. A cet effet, la disponibilité des équipements pour la préparation du sol notamment le labour doit être étudié et préparée à temps aussi bien par l'AMVS que la coopérative.

Troisième partie : Pédologie, Eau et Fertilité

Chapitre VI : Etude Pédologique du périmètre irrigué de Gouran

VI.1 Méthode d'étude

L'étude pédologique suit une démarche axée sur :

- la collecte des données;
- les travaux préparatoires;
- les travaux de terrain;
- les travaux de laboratoire;
- l'évaluation des terres.

Elle a consisté en la recherche et l'exploitation de documents relatifs à la zone d'étude.

Il s'agit :

- des rapports d'étude et de la carte morpho pédologique de Gouran (échelle 1/10000^e) ;
- de l'acquisition de matériels de prospection pédologique, un code Munsell, un pénétromètre, un marteau, une boussole, un GPS (global position system), des sachets plastiques, des pelles, des pics, une tarière, de l'acide chlorhydrique.

VI.1.1 Collecte et synthèse des données de base

Avant d'entamer l'étude de terrain, des données de base ont été collectées.

Les documents utilisés sont :

- le plan topographique du périmètre de Gouran à 1/5 000^{ème} fournis par l'AMVS;
- la carte géologique du Burkina au 1/1 000 000^{ème};
- le rapport d'étude pédologique (au 1/10 000^{ème}) sur le Sourou fourni par le BUNASOLS, (1980).
- le rapport d'étude de faisabilité et d'avant-projet détaillé des aménagements hydro agricoles de 610ha en 2012 parmi lesquels le périmètre irrigué de Gouran fournis par ERA- Ingénieurs Conseils.

VI.1.2.Travaux de terrain

La prospection pédologique du périmètre irrigué de Gouran a utilisé la méthode de transect (Blavet et *al.*, 1990). Le choix du transect s'est fait sur la base de la carte pédologique disponible. Le transect s'étend du sud est au nord. L'implantation et l'exécution des six profils pédologiques ont été réalisées tout le long du transect suivi du prélèvement d'échantillons à chaque horizon en vue d'analyses physico-chimiques au laboratoire.

VI.1.3 Description des profils pédologiques

Les fosses sont ouvertes (voir photos 23) selon les dimensions préconisées par le BUNASOLS (1987) : largeur de la paroi 1m ; longueur de la fosse 1,5m, la largeur au niveau du premier escalier est de 0,6m ; la profondeur est de 1,2m.



Photo 23: délimitation des horizons (Adjeffa, février 2013)

Elles sont orientées de façon à ce que la face à observer bénéficie au moment de l'observation d'un maximum d'éclairage, la paroi à observer est donc orientée à l'est.

Les profils pédologiques ont été décrits suivant les directives FAO (1994). La classification des sols est celle du système français (C.P.C.S., 1967) et les couleurs WRR de sol sont déterminées à l'aide du Code Munsell. Les données sur le profil et l'environnement ont été consignées, sur le terrain, sur des fiches de description élaborées par le BUNASOLS (Document technique n°5 de 1989, voir annexe 5).

VI.1.4 Echantillonnage

Dix (18) échantillons ont été prélevés sur 3 premiers horizons de chaque profils (soit 3 échantillons/profil) pour les analyses au laboratoire. Ces échantillons sont analysés au laboratoire (BUNASOLS) afin d'obtenir des données complémentaires pour la caractérisation des sols étudiés.

VI.1.5 Mesure de vitesse d'infiltration

Les mesures de la vitesse d'infiltration ont été réalisées en utilisant la méthode du double anneau de Müntz – Veihmayer. Elles ont été effectuées autour des six profils représentatifs.

Autour d'un profil, trois essais sont effectués pour déterminer une valeur moyenne qui constitue la mesure finale en ce point (Duchaufour, 1997).

Le mode opératoire impose deux cylindres concentriques et les lectures sont synchrones dans l'anneau interne voir photo 24.



Photo 24: mesure de la vitesse d'infiltration (Adjeffa, février 2013)

VI.1.6 Travaux de laboratoire

Les analyses des échantillons de sols ont été effectuées au BUNASOLS. Les méthodes utilisées sont celles en vigueur au BUNASOLS (document technique n°3, 1987 voir annexe 3). Les paramètres mesurés sont : La granulométrie 3 fractions, les constantes hydriques ($pF_{2,5}$; pF_3 et $pF_{4,2}$), le pH_{eau} , le pH_{KCl} , la capacité d'échange cationique, les bases échangeables, la matière organique totale, l'azote total, le phosphore assimilable, le potassium disponible.

VI.1.7 Évaluation de la fertilité des sols

Elle a été faite selon les normes d'interprétation (BUNASOLS, 1990). Dans cette norme la classe de fertilité est le facteur diagnostique utilisé. Elle est déterminée à partir de :

- la richesse en éléments nutritifs principaux (azote, phosphore, potassium), en matière organique et en bases échangeables ;
- les indices de disponibilité en éléments nutritifs (pH_{eau} et pH_{KCl});
- la capacité d'échange cationique et le taux de saturation en bases.

La valeur de chacun de ces paramètres dans le sol est affectée d'une cotation qui va de 1 à 5 (BUNASOLS, 1990)

La somme des cotations définit la classe de fertilité (tableau 7).

Tableau 7 : Normes des classes de fertilité des sols

Classe de fertilité	Très basse	Basse	Moyenne	Élevée	Très élevée
Somme des cotations	< 15,9	16,0 – 21,9	22,0 – 27,9	28,0 – 33,9	> 34,0

VI.1.8 Évaluation de la RU dans les sols du périmètre

La réserve en eau utile (RU) est calculée selon la formule :

$$RU = (HpF2,5 - HpF4,2) \times da \times Z / 100$$

Où : RU = Réserve en eau utile (mm);

da = densité apparente (= 1,7 en moyenne pour les sols du Burkina Faso);

Z = épaisseur de l'horizon (mm).

HpF2,5 : humidité pondérale à la capacité au champ (en pF3 pour les sols lourds)

HpF4,2 : humidité pondérale au point de flétrissement permanent

VI.2 Traitement des données

Les données collectées provenant aussi bien du terrain (données morphologiques) que du laboratoire (données analytiques) ont été traitées au bureau. Les résultats analytiques ont été interprétés selon les normes du BUNASOLS (1990)

VI.3 Résultats et Discussions

VI.3.1 Tracé du Transect

Le tracé du transect s'étend du sud est au nord. L'implantation et l'exécution des profils pédologiques tout le long du transect se présente comme l'indique la figure 12 .

Direction	Sud-est nord-ouest												
Critères													
Type de sol	Gouran	FLTC	Limite FLTC-BEH	BEH	Limite BEH-HPGS	HPGS	Limite HPGS-BEHV	BEHV	Limite BEHV-V V	V V	Limite VV-BEF	BEF	digue
Topo- graphie		Faible- ment ondulé		Quasi plate		ondulé		Quasi plate		ondulé		Quasi plat	
Végétation		eucaleptus										Acacia seyal, piliotigma	
Spéculation		Maïs		Oignon		riz		Oignon et riz		riz		oignon	

Figure 12: Distribution des sols selon un transect sud-nord du périmètre de Gouran.

FLTC : Sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions

BEH : Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes

HPGS : Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface

BEHV : Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques

V V : vertisols vertiques

BEF : Sols bruns eutrophes tropicaux ferruginisés

VI.3.2 Caractéristiques morphologiques et analytiques des sols

L'étude a répertorié six unités taxonomiques au niveau du périmètre de Gouran .

Le tableau 8 indique leurs nomenclatures et proportions.

Tableau 8: Représentativité des différents domaines pédologiques

N °	Type de sol	superficie (ha)	%
P ₁	Sols ferruginisés (FLTC et BEF)	215	39,8%
P ₂	Sols brunifié eutrophes (BEH, BEHV, HPGS)	285,3	52,7
P ₃	vertisols vertiques (V V)	39,7	7,4
		540	100

P=profil

Ce résultat confirme ceux du BUNASOLS (1988) du point de vue de typologie et localisation des sols.

En général, trois classes de sols s'observent dans le périmètre irrigué de Gouran : Les sols ferruginisés qui représentent 39,8%, les vertisols, 7,4% et les sols brunifiés hydromorphes qui sont majoritaires avec 52,7%. Ce qui explique la prédominance de la culture du riz au périmètre car il s'adapte bien à ces types de sol.

La description de ces sols est dans les paragraphes qui suivent.

Unité n° 1 : Sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions (FLTC)

L'unité n°1 couvre une superficie de 20 ha de la superficie étudiée. Les sols sont sous culture maïs, avec une végétation naturelle composée de *Lannea microcarpa*, *Anogeissus leiocarpus*, *Piliostigma thonningii*, *Vitellaria paradoxa*, *Balanites aegyptiaca*, *Securidaca longipediculata*, *Ziziphus mauritiana* et un tapis herbacé de *Loudetia togoensis*, *Andropogon gayanus*. Ils occupent les pentes inférieures des glacis.

Les résultats des analyses des sols de l'unité 1 sont consignés dans le tableau 9. L'interprétation s'est référée à la classification WRB (1999). D'après cette classification les profils échantillonnés de cette unité sont des lxisols hypogleyque ferrique.

Tableau 9: Résultats des analyses d'échantillons P1(FLTC)

N° de Laboratoire	665	666	667
N° d'origine	P 1	P1	P1
Cm	0 - 20	20 - 54	54 – 70
TEXTURE	LA	LA	A
Argile %	27,45	23,53	43,14
Limons totaux %	41,18	45,10	19,61
Sables totaux %	31,37	31,37	37,25
CONSTANTES HYDRIQUES			
pF 2,5 %	20,52	25,78	24,06
pF 3,0 %	13,53	16,55	17,89
pF 4,2 %	9,78	13,43	13,66
CARBONE ET MATIERE ORGANIQUE			
Matière Organique totale %	1,231	0,947	1,045
Carbone total %	0,714	0,549	0,606
Azote total %	0,051	0,046	0,041
C/N	14	12	15
PHOSPHORE			
Phosphore total en ppm	288,1	510,7	183,3
Phosphore assimilable en ppm	6,00	6,93	5,06
POTASSIUM			
Potassium disponible en ppm	61,16	39,46	32,55
BASES ECHANGEABLES méq/100g			
Calcium	6,36	8,44	8,52
Magnésium	1,58	2,06	1,75
Potassium	0,21	0,12	0,09
Sodium	0,06	0,04	0,02
Somme des bases (S)	8,21	10,66	10,38
Capacité d'échange (T) méq/100g	16,09	16,46	16,17
Taux de saturation (S/T) %	51	65	64
REACTION DU SOL			
pH KCl (P/V : 1/2,5)	6,04	5,81	6,08
pH eau (P/V : 1/2,5)	5,24	4,91	5,14
Conductivité électrique ds/cm	74	76,3	63
Fer total %Fe ₂ O ₃	2,751	3,038	3,676
Fer libre %Fe ₂ O ₃	2,031	2,317	2,317

Interprétations

Elles portent sur les caractéristiques morphologiques, analytiques et les contraintes pédologiques.

a) Caractéristiques morphologiques

Les sols de l'unité 1 sont profonds (>70 cm) (voir annexe 5). La teinte dominante, à l'état sec, est brune (10YR5/3) en surface, brun jaunâtre (10YR5/4) à brun jaunâtre foncé (10YR6/4) en profondeur. Entre 54 et 70 centimètres, il est noté 5 à 10% des taches gris brunâtre clair (10YR6/2) à l'état humide. Le drainage naturel du sol est normal à modéré. La texture est limono-argileuse dans les 2 premiers horizons et argileuse dans le troisième horizon. La charge graveleuse apparaît dans la proportion de 10% à partir de 65 cm et est constituée de concrétions ferrugineuses et ferromanganiques. La structure est massive en surface, polyédrique subangulaire, faiblement à moyennement développée moyenne en profondeur. La consistance à l'état sec est dure. La porosité est bonne dans les 30 premiers centimètres et se dégrade en profondeur.

La vitesse moyenne d'infiltration de l'eau est de 0,9cm/h traduisant une perméabilité modérément rapide. Les racines se concentrent dans les 65 premiers centimètres et se raréfient dans les couches inférieures. L'activité biologique est bien marquée dans la même tranche de sol par la présence de nombreuses galeries de termites et d'insectes divers.

La variation autour du profil de référence concerne la texture de surface qui est limono-argileuse avec une charge graveleuse qui atteint 40% de concrétions et graviers ferrugineux.

b) Caractéristiques analytiques

La texture est limono argileuse entre 20 et 54 cm et argileuse entre 54 à 70cm

Les taux de matière organique sont moyens sur tout le profil. Elle a une bonne décomposition dans le sol avec un rapport C/N de 13,6. Les teneurs en potassium disponible sont moyennes en surface et baissent en profondeur de 61,16 à 32,55 ppm. La capacité d'échange cationique est élevée sur tout le profil (16,09 à 16,16,46). Ce résultat s'apparente à celui obtenu par Amadji (1999) sur le site de Bochicon au BENIN . La disponibilité en bases échangeables est moyenne (8,81 à 10,66 méq/100g). Le taux de saturation en bases est relativement élevé 51 à 65%. Les sols sont pauvres en azote total (0,047%) et en phosphore assimilable (5,06 à 6,93 ppm) . Ils sont moyennement acides $6,04 < \text{pH} < 6,08$. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Bassala (2005) au nord Cameroun. Le rapport fer libre et total est de 73% ce qui prévient les risques de toxicité ferrique. Les teneurs en calcium (6,36 à 8,52 méq/100g) et magnésium (1,58 à 2,06 méq/100g) échangeables sont fortes ; en revanche, celles du sodium

sont basses à très basses (0,06 à 0,02 méq/100g) ; par conséquent, l'alcalinisation dans ces sols est nulle.

C) Contraintes pédologiques

Elles sont liées à la texture fine, à la structure massive en surface, à la pauvreté en azote et à la déficience en phosphore.

Unité n°2 : Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes (BEH)

L'unité n°2 couvre une superficie de 11,6 ha de la superficie étudiée. Les sols sont sous culture d'oignon et se rencontrent sur la plaine inondable du Sourou, notamment dans les zones de dépression. Ils ont pour matériau constitutif essentiellement des alluvions montmorillonitiques issues de roches basiques.

Les résultats des analyses des sol dans l'unité 2 sont consignés dans le tableau 10. L'interprétation s'est référée à la classification WRB (1999). Cette classification montre que les profils échantillonnés de cette unité sont des cambisol gleyique hypereutrique.

Tableau 10: Résultats des analyses d'échantillons du profil P2 (BEH)

N° de Laboratoire	668	669	670
N° d'origine	P 2	P2	P2
Profondeur (cm)	0 - 27	27 – 60	60 – 78
TEXTURE	LA	A	AL
Argile %	25,49	45,10	39,22
Limons totaux %	52,94	23,53	35,29
Sables totaux %	21,57	31,37	25,49
CONSTANTES HYDRIQUES			
pF 2,5 %	19,32	29,42	28,11
pF 3,0 %	10,31	20,61	19,06
pF 4,2 %	6,52	14,97	12,48
CARBONE ET MATIERE ORGANIQUE			
Matière Organique totale %	0,902	0,610	0,479
Carbone total %	0,523	0,354	0,278
Azote total %	0,041	0,031	0,026
C/N	13	12	11
PHOSPHORE			
Phosphore total en ppm	183,3	170,2	209,5
Phosphore assimilable en ppm	13,12	5,81	5,06
POTASSIUM			
Potassium disponible en ppm	130,20	145,07	54,22
BASES ECHANGEABLES méq/100g			
Calcium	9,59	15,61	15,07
Magnésium	2,11	2,96	2,62
Potassium	0,37	0,27	0,25
Sodium	0,11	0,09	0,08
Somme des bases (S)	12,18	18,93	18,02
Capacité d'échange (T)méq/100g	16,26	24,04	22,85
Taux de saturation (S/T) %	75	79	79
REACTION DU SOL			
pH KCl (P/V : 1/2,5)	7,07	6,40	6,41
pH eau (P/V : 1/2,5)	6,41	5,24	5,30
Conductivité électrique ds/cm	56	73	66
Fer total %Fe ₂ O ₃	2,020	2,320	3,054
Fer libre %Fe ₂ O ₃	1,130	1,702	2,016

Interprétations

Elles portent sur les caractéristiques morphologiques, analytiques et les contraintes pédologiques.

a) Caractéristiques morphologiques

Ce sont des sols épais (>100 cm) avec une proportion d'argileuse qui augmente en profondeur. Ils sont fermes à l'état frais dans toute l'épaisseur et bien poreux dans les 30 premiers centimètres. Leur teinte dominante est brun grisâtre foncé » (10Y4/4 et 4/3). Des taches d'oxydo réduction (environ 15% par horizon), brun jaunâtre foncé (10YR4/6), brun grisâtre foncé (10YR4/2), gris (10YR5/1) et brun jaunâtre (10YR5/6), sont signalées depuis la

surface jusqu'en profondeur. La structure est polyédrique subangulaire à angulaire moyennement à faiblement développée grossière et moyenne. La présence racinaire et l'activité faunique sont fortes. La vitesse d'infiltration moyenne est de 0,022cm/h. La perméabilité est par conséquent très lente au niveau de ces sols. L'irrigation peut se faire par submersion avec de faibles risques de perte en eau.

b) Caractéristiques analytiques

Dans l'horizon de surface (0-27 cm), la fraction limoneuse est dominante (52,94%) tandis que la fraction grossière – sables totaux – est faible (21,57%). Dans les horizons inférieurs, les taux d'argile restent dominants (23,53 à 35,29%).

Les teneurs en matière organique (0,9 à 0,4%) sont basses sur l'ensemble du profil. Il en va de même azote total (0,026- 0,041). Celles en phosphore assimilable sont moyennes dans le 1^{er} horizon et basses (5,06 à 13,12 ppm) en profondeur. La somme des bases est élevée (12,18 à 18,93 méq/100g de terre). Les teneurs en potassium disponible sont moyennement élevées (54,22 à 145,07 ppm). Ce sont des sols à très forte capacité d'échange cationique (16,26 à 24,04 méq/100g de terre) et à très forte saturation en bases échangeables (75 à 79%). Le pH du sol est neutre dans l'horizon de surface (pH 7,07) et légèrement alcalin (pH 6,4) en profondeur.

Le rapport du fer libre et total est inférieur 80% sur tout le profil. Le risque de toxicité ferrique est nul.

c) Contraintes pédologiques

Les contraintes sont liées à la texture fine en surface, au risque d'effondrement et d'inondation de ces sols. Ces sols sont aussi carencés en phosphore assimilable, pauvres en matière organique et en azote total. Par ailleurs, ils présentent des risques d'installation de conditions fortement basiques liées à la présence de nodules calcaires.

Unité n° 3 : sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface

L'unité n° 3 couvre une superficie de 18,5 ha de la superficie étudiée. La pédogenèse de ces sols est largement influencée par l'effet d'excès d'eau suite à un engorgement temporaire ou permanent. Ces sols sont sous culture de riz et se rencontrent sur la plaine inondable du Sourou, notamment dans les zones de dépression.

Les résultats des analyses des sols de l'unité 3 sont consignés dans le tableau 11. L'interprétation s'est référée à la classification de Classification WRB (1999). Cette classification situe les profils échantillonnés dans l'unité sont des gleysols.

Interprétations

Elles portent sur les caractéristiques morphologiques, analytiques et les contraintes pédologiques.

a) Caractéristiques morphologiques

Ces sols sont profonds, leur fond matriciel présente une teinte, à l'état humide, brun grisâtre très foncé (10YR3/2) dans les 27 premiers centimètres (voir annexe 5). Entre 27 à 60 cm ils sont bruns avec 5% des taches gris brunâtre claire (10YR6/2). Au-delà ils sont bruns grisâtre foncé (2,5Y4/4) à brun olive clair (10Y4/4). Ils sont mal drainés, l'hydromorphie est bien prononcée dans ces sols. La texture est (argilo-limoneuse) en surface et fine en profondeur (argileuse). La porosité est faible. A l'état frais, les sols sont fermes. L'activité faunique est bonne dans les 20 premiers cm; elle est, en revanche, faible voire nulle en profondeur.

b) Caractéristiques analytiques

On note une carence en matière organique (0,44 à 0,81%), en phosphore assimilable qui décroît de 4,12 ppm à 2,62 ensuite 0,56. La teneur en potassium disponible est basse en surface et moyenne en profondeur (20,03ppm à 79,90 ppm). La disponibilité en bases échangeables est élevée voire très élevée (13,74 à 20,59 méq/100g de terre). Le pourcentage d'azote total est très bas. La minéralisation de la matière organique est normale (C/N 13 à 11). La saturation en bases est également est relativement très élevé (74 à 81%). La réaction de ces sols est neutre (pH 7,2 à 6,9). Le risque de toxicité ferrique est nul car le rapport fer libre et total est inférieur à 80% sur tout le profil.

C) Contraintes pédologiques

Elles sont liées aux inondations prolongées en saison des pluies, à la texture lourde de ces sols, difficiles à travailler après dessiccation ou humectation du fait de leur forte adhésivité. Elles sont aussi liées à la structure médiocre de ces sols, au risque de basicité lié à la présence des nodules calcaires, carence en phosphore, déficience en matière organique et en azote total.

Tableau 11 : Résultats des analyses d'échantillons du profil P3 (HPGS)

N° de Laboratoire	671	672	673
N° d'origine	P 3	P3	P3
Profondeur (cm)	0 – 32	32 - 55	55 – 72
TEXTURE	LA	A	A
Argile %	29.41	43.14	43.14
Limons totaux %	27.45	23.53	21.57
Sables totaux %	43.14	33.33	35.29
CONSTANTES HYDRIQUES			
pF 2.5 %	23.34	28.36	27.91
pF 3.0 %	13.59	20.02	20.66
pF 4.2 %	9.80	14.48	13.70
CARBONE ET MATIERE ORGANIQUE			
Matière Organique totale %	0.816	0.445	0.479
Carbone total %	0.473	0.258	0.278
Azote total %	0.036	0.023	0.026
C/N	13	11	11
PHOSPHORE			
Phosphore total en ppm	209,5	91,7	170,2
Phosphore assimilable en ppm	4,12	2,62	0,56
POTASSIUM			
Potassium disponible en ppm	20.03	49.82	79.90
BASES ECHANGEABLES méq/100g			
Calcium	10.80	15.89	16.59
Magnésium	2.71	3.36	3.64
Potassium	0.34	0.26	0.27
Sodium	0.09	0.09	0.09
Somme des bases (S)	13.94	19.60	20.59
Capacité d'échange (T)méq/100g	18,82	24,40	25,49
Taux de saturation (S/T) %	74	80	81
REACTION DU SOL			
pH KCl (P/V : 1/2,5)	7,12	7,04	6,91
pH eau (P/V : 1/2,5)	6,50	6,09	6,10
Conductivité électrique ds/cm	56	57	59
Fer total %Fe ₂ O ₃	2,565	3,240	3,175
Fer libre %Fe ₂ O ₃	1,430	1,902	1,845

La vitesse moyenne d'infiltration de l'eau est de 0,22 cm/h traduisant une perméabilité modérée des sols. Il convient à l'irrigation par submersion.

Unité n°4 : Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques (BEHV)

L'unité n°4 couvre 255,2 ha. Elle correspond à des surfaces planes et basses souvent couvertes de micro cuvettes et parcourues de fentes de retrait de largeur variable. La végétation type est une savane arborée assez dense à *Pterocarpus lucens*, *Anogeissus leiocarpus*, *Acacia seyal*, *Mitragyna inermis*, *Khaya senegalensis*, *Ziziphus mauritiana*, *Piliostigma reticulata* avec un tapis herbacé lâche à *Andropogon ascinodus*.

Les résultats des analyses des sols de l'unité 4 sont consignés dans le tableau 12. L'interprétation s'est référée à la classification de Classification WRB (1999). Cette classification montre que les profils échantillonnés de cette unité sont des cambisols gleyiques, calcariques, hypereutriques.

Interprétation :

Elles portent sur les caractéristiques morphologiques, analytiques et les contraintes pédologiques.

a) Caractéristiques morphologiques

Ce sont des sols profonds (>100 cm), bruns olive (2,5Y5/2) en surface à brun olive clair (2,5Y5/4) entre 20-43cm à l'état frais (voir annexe 5). L'hydromorphie se manifeste par la présence, au-delà des 72 premiers centimètres, de 20% de taches brun jaunâtre (10YR5/6) et gris brunâtre clair (2,5Y6/2). La texture est fine de haut en bas du profil (limono-argileuse à argilo-limoneuse). La structure est massive en surface et polyédrique subangulaire moyennement développée jusqu'à 43 cm, polyédrique angulaire moyennement développée au-delà. La consistance est ferme à l'état frais. Les faces de glissement sont assez nombreuses à partir de 43 centimètres. Les sols présentent une bonne porosité dans les 40 premiers centimètres, laquelle diminue nettement avec la profondeur. Le système racinaire et l'activité biologique suivent la même évolution. Les sols sont modérément drainés.

Tableau 12 : Résultats des analyses d'échantillons de profil P4 (BEHV)

N° de Laboratoire	674	675	676
N° d'origine	P 4	P4	P4
Profondeur (cm)	0 - 20	20 - 43	43 – 72
TEXTURE	LA	AL	AL
Argile %	33.33	39.22	39.22
Limons totaux %	41.18	21.56	23.53
Sables totaux %	25.18	39.22	37.25
CONSTANTES HYDRIQUES			
pF 2,5 %	25,15	24,15	25,77
pF 3,0 %	16,06	16,88	16,60
pF 4,2 %	10,77	12,21	12,49
CARBONE ET MATIERE ORGANIQUE			
Matière Organique totale %	1.436	1.110	0.467
Carbone total %	0.833	0.644	0.271
Azote total %	0.064	0.051	0.023
C/N	13	13	12
PHOSPHORE			
Phosphore total en ppm	405.9	157.1	104.8
Phosphore assimilable en ppm	13.49	3.75	7.87
POTASSIUM			
Potassium disponible en ppm	151.91	58.20	66.09
BASES ECHANGEABLES méq/100g			
Calcium	16.29	15.68	15.61
Magnésium	2.80	2.59	2.48
Potassium	0.46	0.18	0.20
Sodium	0.13	0.06	0.05
Somme des bases (S)	19.68	18.51	18.34
Capacité d'échange (T)méq/100g	22.61	22.92	24.36
Taux de saturation (S/T) %	87	81	75
REACTION DU SOL			
pH KCl (P/V : 1/2.5)	7.46	7.40	7.27
pH eau (P/V : 1/2.5)	66	83	65
Conductivité électrique dS/cm	0,244	0,092	0,097
Fer total %Fe2O3	2,621	2,437	3,298
Fer libre %Fe2O3	1,716	2,074	2,159

La vitesse d'infiltration moyenne est de 0,30cm/h. La perméabilité est par conséquent modérément lente dans ces sols. L'irrigation se fait par submersion avec des risques de perte en eau du fait de la présence de nombreuses fentes de dessiccation.

b) Caractéristiques analytiques

La fraction argileuse augmente et reste constante avec la profondeur (39,22%). En revanche, la fraction limoneuse diminue (41,18 à 21,56%). Les sols sont moyennement pourvus en matière organique en surface mais pauvres en profondeur. La matière organique se minéralise bien avec un rapport C/N compris entre 13 à 12. Les taux d'azote total sont faibles (0,023 à 0,064%). La carence azotée démunie l'absorption de l'eau et induit un déficit hydrique

important chez certains végétaux (Robelin ,1972). Les teneurs en potassium disponible sont moyennement élevées (58,20 à 151,91ppm) et ceux en phosphore assimilable sont moyens en surface et bas dans 2nd horizon (3,75 à 13, 49 ppm). La somme des bases échangeables et la capacité d'échange cationique sont très élevées (respectivement 18,34 à 19,68 méq/100g et 22,61 à 24,36 méq/100g). Le rapport entre ces deux derniers paramètres indique une très forte saturation en bases (87 à 75%). Ce résultat est en rapport avec celui de Black, (1992). La réaction du sol est très faiblement alcaline (pH 7,27-7,46).

Le rapport du fer libre et total est inférieur à 80% sur tout le profil.

c) Contraintes pédologiques

Les contraintes de ces sols sont surtout liées à la texture fine, à la présence de fentes de retrait dès la surface, à la déficience en matière organique, à la carence en azote total et en phosphore assimilable.

Unité n°5 : Les vertisols vertiques

L'unité n°5 couvre 39,7ha. Elle correspond à des surfaces planes et basses souvent couvertes de micro cuvettes et parcourues de larges fentes de retrait. Ces sols sont sous culture de riz. Les résultats des analyses des sols de l'unité 5 sont consignés dans le tableau 13. L'interprétation s'est référée à la classification de WRB (1999). Cette classification montre que les profils échantillonnés de cette unité sont des cambisol vertiques

Tableau 13 : Résultats des analyses d'échantillons de profil P5 (VV)

N° de Laboratoire	677	678
N° d'origine	P 5	P5
Profondeur (cm)	0 - 15	15 – 30
TEXTURE	AL	A
Argile %	35,29	43,14
Limons totaux %	27,46	21,57
Sables totaux %	37,25	35,29
CONSTANTES HYDRIQUES		
pF 2,5 %	25,73	26,44
pF 3,0 %	17,03	19,45
pF 4,2 %	12,60	15,22
CARBONE ET MATIERE ORGANIQUE		
Matière Organique totale %	1,971	1,014
Carbone total %	1,143	0,588
Azote total %	0,087	0,046
C/N	13	13
PHOSPHORE		
Phosphore total en ppm	275,0	209,5
Phosphore assimilable en ppm	3,93	4,87
POTASSIUM		
Potassium disponible en ppm	119,35	89,76
BASES ECHANGEABLES méq/100g		
Calcium	13,19	15,99
Magnésium	3,03	3,06
Potassium	0,34	0,27
Sodium	0,09	0,09
Somme des bases (S)	16,65	19,41
Capacité d'échange (T)méq/100g	22,01	24,33
Taux de saturation (S/T) %	76	80
REACTION DU SOL		
pH KCl (P/V : 1/2,5)	7,38	7,45
pH eau (P/V : 1/2,5)	6,27	6,57
Conductivité électrique ds/cm	70	83
Fer total %Fe ₂ O ₃	2,654	2,865
Fer libre %Fe ₂ O ₃	1,845	2,360

Interprétation :

Elles portent sur les caractéristiques morphologiques, analytiques et les contraintes pédologiques.

a) Caractéristiques morphologiques

Ces sols sont profonds (voir annexe 5), la structure est polyédrique, moyennement développée dans le premier horizon mais devient prismatique en profondeur. Les éléments grossiers se composent de 2 à 5 % de graviers ferrugineux en surface et de 3% de concrétions ferromanganifères et de 10% de nodules calcaires en profondeur. Ils ont une coloration gris brun foncé (2,5y4/2) en surface, brun olive clair (2,5y5/3) à l'état humide en profondeur. Ces sols sont caractérisés par des larges fentes de retrait en surface et également dans les faces de glissement. La texture est argilo-limoneuse en surface et argileuse en profondeur.

b) Caractéristiques analytiques

La fraction en argile croît avec la profondeur alors que celle de limon et de sable régressent. Les teneurs en matières organiques sont moyennes (1,01 à 1,97%) sur tout le profil. La décomposition s'opère plutôt bien avec un rapport C/N =13(LCA, 2008). Ces sols sont bien pourvus en potassium disponibles (89,76 à 119,35ppm) et très pauvres en phosphore assimilables (3,93 à 4,87ppm). La carence en phosphore comme celle en azote diminue l'absorption de l'eau mais les symptômes sont beaucoup plus longs à apparaître (Morizet et Mingau, 1976). Les bases échangeables sont élevées (19,41 à 16,65).

c) Contraintes pédologiques :

Les contraintes de ces sols sont liées à la texture fine, aux larges fentes de retraits en campagne sèche ce qui affecte le retrait de l'eau. Leur pauvreté en phosphore assimilable.

Unité n°6: bruns eutrophes tropicaux ferruginisés (BEF).

L'unité n°6 couvre une superficie de 195 ha. Les sols sont sous culture d'oignon, avec une végétation naturelle composée de *Lannea microcarpa*, *Anogeissus leocarpus*.

Les résultats des analyses des sols de l'unité 6 sont consignés dans le tableau 14. L'interprétation s'est référée à la classification de WRB (1999). D'après cette classification les profils échantillonnés de cette unité sont des cambisols hypogleyiques, eutriques.

Tableau 14: Résultats des analyses d'échantillons de profil P6 (BEF)

N° de Laboratoire	679	680	681
N° d'origine	P 6	P6	P6
Profondeur (cm)	0 - 20	20 - 44	44 – 72
TEXTURE	LA	AL	A
Argile %	35,29	29,41	39,22
Limons totaux %	41,18	50,98	45,10
Sables totaux %	23,53	19,61	15,68
CONSTANTES HYDRIQUES			
pF 2.5 %	22,32	26,62	25,42
pF 3.0 %	14,98	19,71	17,28
pF 4.2 %	12,18	16,03	14,19
CARBONE ET MATIERE ORGANIQUE			
Matière Organique totale %	1,305	0,947	0,457
Carbone total %	0,757	0,549	0,265
Azote total %	0,057	0,046	0,023
C/N	13	12	11
PHOSPHORE			
Phosphore total en ppm	157,1	235,7	222,6
Phosphore assimilable en ppm	9,37	4,50	5,62
POTASSIUM			
Potassium disponible en ppm	39,46	32,55	43,40
BASES ECHANGEABLES méq/100g			
Calcium	9,66	8,82	7,95
Magnésium	2,09	2,30	1,78
Potassium	0,48	0,10	0,10
Sodium	0,13	0,04	0,02
Somme des bases (S)	12,36	11,26	9,85
Capacité d'échange (T)méq/100g	17,04	17,39	15,95
Taux de saturation (S/T) %	73	65	62
REACTION DU SOL			
pH KCl (P/V : 1/2,5)	6,93	6,28	6,21
pH eau (P/V : 1/2,5)	6,39	5,40	5,35
Conductivité électrique dS/cm	89	86	82
Fer total %Fe ₂ O ₃	2,467	2,801	3,804
Fer libre %Fe ₂ O ₃	2,217	2,402	3,117

Interprétation :

Elles portent sur les caractéristiques morphologiques, analytiques et les contraintes pédologiques.

a) Caractéristiques morphologiques

Ce sont des sols profonds (>100 cm) (voir annexe 5). Ils sont de couleur brune (10YR5/3) dans les 20 premiers centimètres à l'état sec, brun jaunâtre clair (2,5Y6/4) à jaune olive (2,5Y6/6) en profondeur, à l'état sec. 5% de taches brun vif (7,5YR5/6 et 5/8) et gris brunâtre clair (10YR6/2) à l'état humide sont observés entre 20 à 44 centimètres. Le drainage naturel est modéré. La texture est moyenne (limono-argileuse) en surface et fine (argileuse) en dessous. Ils contiennent environ 15% de concrétions ferrugineuses et ferromanganiques dans les 72 premiers centimètres et environ 20% de nodules calcaires plus ou moins altérée au-delà de cette épaisseur. La structure est polyédrique subangulaire faiblement développée grossière en surface. Elle est polyédrique angulaire faiblement moyenne au-delà de 72 cm. Dans l'horizon médian (20-44 cm), elle est polyédrique subangulaire faiblement développée fine. La consistance est friable. La porosité est bonne en surface et faible en profondeur. Les racines sont bien présentes dans les 20 premiers centimètres, de taille fine et très fine. L'activité biologique est peu développée dans le profil.

La vitesse moyenne d'infiltration de l'eau dans ces sols est de 0,88 cm/h traduisant une perméabilité modérément rapide

b) Caractéristiques analytiques

La texture limono-argileuse dans les deux premiers horizons et argileuse en profondeur. Les sols sont moyens en matière organique en surface et pauvres en profondeur. Ils sont carencés en azote total (0,023 à 0,057 %) et en phosphore assimilable qui varie de (9,37 à 4,50 ppm). La teneur en potassium disponible (43,40 à 32,55 ppm) est basse. Le rapport C/N est moyen (13 à 11), ce qui indique une bonne minéralisation de la matière organique. La teneur en bases échangeables est moyennement élevée (12,36 à 9,85 méq/100g) . La capacité d'échange cationique suit la même évolution (17,04 à 15,95 méq/100g). La saturation de ces sols en bases échangeables est élevée (73 à 62%). Ils ont une réaction légèrement acide sur tout le profil (pH 6,21 à 6,93).

C) Contraintes pédologiques

Les contraintes majeures sont la structure faiblement développée grossière en surface, la carence en phosphore assimilable et en azote.

VI.3.3 Infiltrabilité des sols

Le tableau 15 donne la vitesse d'infiltration de chaque type de sol.

Tableau 15: Vitesse finale d'infiltration des sols du périmètre

Site d'étude	Types de sols	Vitesse d'infiltration (cm/h)	Interprétation
Gouran	FLTC	0,9	Modérément rapide
	BEH	0,02	Perméabilité très lente
	HPGS	0,22	Perméabilité modérée
	BEHV	0,30	Perméabilité modérée
	VV	0,18	Perméabilité lente
	BEF	0,88	Perméabilité Modérément rapide

D'une manière générale au départ de l'essai les vitesses d'infiltration sont plus élevées, ces vitesses diminuent au fur et à mesure que le temps de l'essai augmente. Cet état est imputable à l'état sec du sol avec la rétraction des argiles qui laisse des fentes de dessiccations. Lorsque l'argile est suffisamment humectée les agrégats gonflent, ces fentes et la macroporosité sont réduites au maximum. Alors la vitesse prend une allure de stabilité appelée vitesse finale d'infiltration.

VI.3.4 Evaluation de la RU dans les sols du Périmètre

La réserve utile RU (mm) des sols a été calculé sur les 50 premiers centimètres du sol et représenté sur la figure 13. Pour le profil P₅, elle a été calculée sur 30cm compte tenu de la venue d'eau au moment de l'échantillonnage.

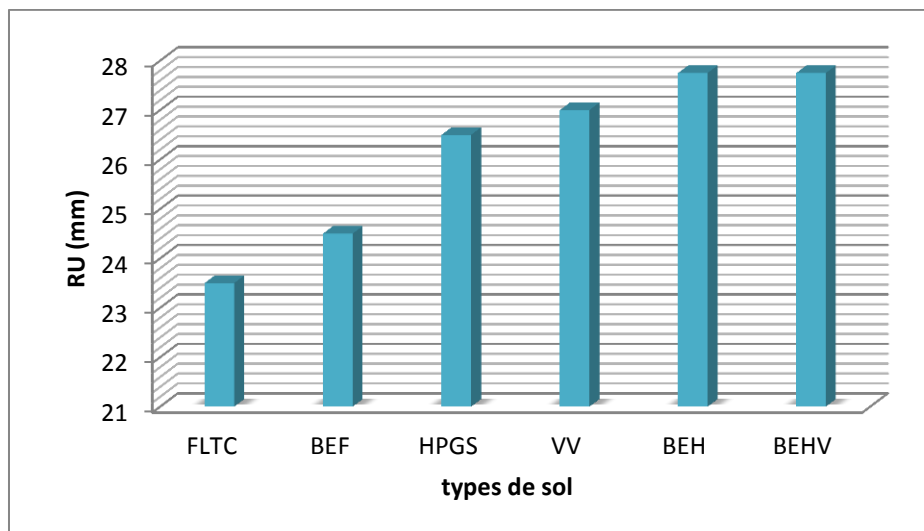


Figure 13: Variation de la RU dans les sols du périmètre

Légende

FLTC : Sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions

BEH : Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes

HPGS : Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface

BEHV : Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques

V V : vertisols vertiques

BEF : Sols bruns eutrophes tropicaux ferruginisés

On constate que la réserve utile est basse dans les sols ferruginisés et évolue dans les sols hydromorphes pour atteindre le pic dans le sol HPGS (figure 13).

VI.3.5 Etat de fertilité des sols du Périmètre

L'évaluation de l'état de fertilité des sols montre que tous les appartiennent à la même classe de fertilité. (Figure 14).

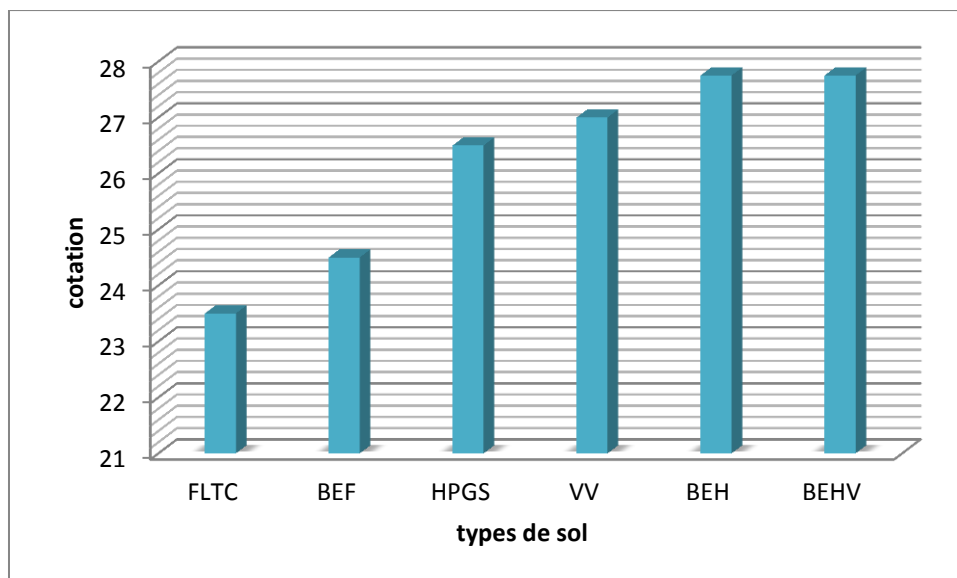


Figure 14: Etat de fertilité des sols

Toutefois les hydromorphes présentent des cotes plus élevés que les ferruginisés. Ces résultats s'apparentent à ceux d'ORSTOM, (1976) et BUNASOL, (1988) dans le périmètre de Débé au Sourou.

Chapitre VII : Impact de l'eau d'irrigation et de la nappe sur la production

VII.1 Méthode d'étude

Afin d'établir des relations entre l'hydrologie et le rendement des cultures du périmètre de Gouran, il a été choisi d'étudier le comportement de la nappe à partir du transect ayant fait l'objet de caractérisation pédologique. Les paragraphes suivants détaillent l'instrumentation mise en œuvre.

VII.1.1 Instrumentation

L'instrumentation mise en place le long du transect comprend 6 stations piézométriques afin de mettre éventuellement en évidence la présence de nappe perchée qui par sa persistance pourrait avoir des implications sur les cultures du périmètre. Le piézomètre est un tube en pvc implanté à différentes profondeurs selon le niveau de la nappe par endroit. La profondeur maximale d'implantation a été de 1,07m. Nous avons choisi un diamètre de 4 cm pour ces tubes, afin d'obtenir un délai de réponse négligeable par rapport aux fluctuations de la nappe (Brand et Premchitt, 1980). Dans leur partie supérieure, ces tubes ont été entourés d'une gaine colmatante de bentonite, afin d'interdire les infiltrations d'eau par le haut. La base de ces tubes a été percée sur une hauteur de 30 cm. Afin d'éviter le colmatage de cette partie percée, celle-ci a été entourée de graviers et revêtue d'une crépine photo 25.



Photo 25 : parcelle équipée d'un piézomètre (Adjeffa, février 2013).

VII.2 Etude de la qualité de l'eau d'irrigation du périmètre de Gouran

Dans la recherche des causes probables de la baisse de rendement dans le périmètre de Gouran au Sourou, un échantillonnage d'eau au niveau de l'entrée du canal d'amené, du canal secondaire et de certaines parcelles a été fait. Le but de notre étude est la caractérisation des eaux d'irrigation du périmètre. Des différents tests physico-chimiques ont été réalisés sur ces échantillons au niveau du laboratoire de 2iE en vue d'apprécier les paramètres suivants :

La température ;

Le pH ;

La conductivité électrique;

La concentration en divers cations : Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^{+} ; Na^{+} ; Fe^{2+} et Fe^{3+}

Anions: HCO_3 , Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-}

VII.2.1 Mode opératoire

Le pH permet de déterminer l'acidité d'une eau : il se mesure à l'aide d'un pH-mètre.

La conductivité électrique : Elle permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation totale de l'eau. Elle a été réalisée sur le terrain et au laboratoire à l'aide d'un conductivimètre.

VII.2.2 Le bilan ionique de l'eau

L'analyse chimique des eaux se fait par le dosage volumétrique pour les chlorures, les bicarbonates, les carbonates, le calcium et le magnésium et par spectrophotométrie à flamme pour le sodium, le potassium et les sulfates. Les méthodes de dosage ci-après décrites ont été tirées de Rodier (1984).

VII.2.3 Méthodes de calcul des différents ions

A- Les bicarbonates: les eaux naturelles ont un pH neutre, ce qui correspond à la zone de stabilité des ions HCO_3^- ; les ions CO_3^{2-} sont absents. Le dosage des HCO_3^- se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à 0,02N. L'indicateur coloré utilisé est le vert de Bromocrésol qui donne une couleur bleue.

Soient, n (en mL) le volume d'acide sulfurique versé dans le dosage de carbonates,

N (mL) volume d'acide sulfurique versé dans le dosage de bicarbonates.

S'il n'y a pas de carbonates:

$$24 \text{ méq } (\text{HCO}_3^-)/\text{L} = \text{N (mL)} \times 0,02 \times 1000 \times 0,1 = \text{N (mL)} \times 2 \times 61 \text{ (mg/L)}$$

B - Le calcium : il se dose par complexométrie dans un milieu alcalin à pH = 10 en présence de la soude (NaOH)). Nous titrons par l'acide éthylène diamine tétraacétique (E.D.T.A.), avec le murexide comme indicateur coloré.

Soit n (mL) le volume d'EDTA ajouté (0,02N)

$$\text{méq } (\text{Ca}^{2+}/\text{L}) = \text{n (mL)} \times 0,02 \times 0,1 \times 1000 = 2n$$

$$\text{mg } (\text{Ca}^{2+}/\text{L}) = 2n \times 20$$

C - Le Magnésium : les teneurs en ions Mg^{2+} sont calculées par la différence de la dureté totale et du Calcium exprimés en méq/l.

Soit N (mL) le volume d'EDTA (0,02N) versé.

$$\text{méq } (\text{Mg}^{2+}/\text{l}) = ((\text{N}-\text{n}) \times 0,02 / 10) \times 1000 = 2(\text{N}-\text{n})$$

$$\text{mg } (\text{Mg}^{2+}/\text{l}) = 2(\text{N}-\text{n}) \times 24$$

n=normalité

D - le Sodium, le Potassium et le fer total: le dosage de ces deux ions se base sur la méthode de spectrophotométrie à flamme. Son principe se base sur la dissociation des atomes pendant leur passage dans la flamme, et qui émettent de l'énergie à leur excitation. Chaque élément va émettre une longueur d'onde bien précise qui sera détectée par des filtres optiques de chaque élément. Le principe consiste à réaliser une courbe d'étalonnage de l'élément à doser avec des concentrations connues, puis évaporer dans la flamme du photomètre l'eau à analyser et déterminer la teneur du Na^+ ou K^+ en connaissant la longueur d'onde d'absorption de chacun d'eux.

$$\text{mg Na}^+ \text{ par litre} = \text{meq Na}^+ / \text{litre} \times 23$$

$$\text{mg K}^+ \text{ par litre} = \text{meq K}^+ / \text{litre} \times 39$$

VII.3 Résultats et discussions

VII.3.1 Résultat de dépouillement de relevés piézométriques

Les relevés piézométriques de deux campagnes agricoles ont été représentés sur la figure 15 . Ces relevés permettent d'apprécier l'allure de la fluctuation de la nappe dans chaque piézomètre.

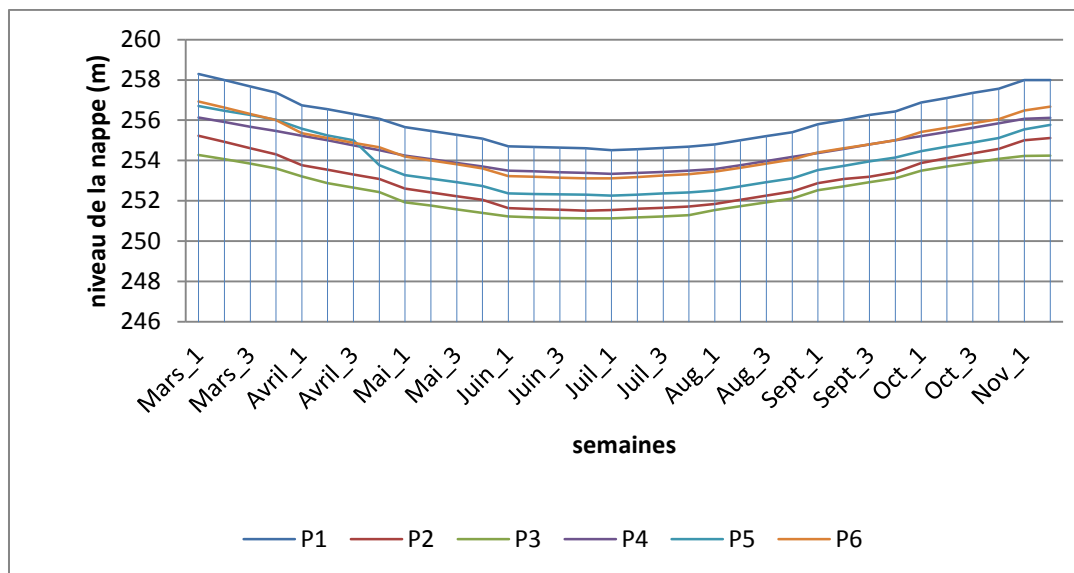


Figure 15: Fluctuations du niveau de la nappe dans les piézomètres.

L'examen global de relevés piézométriques montre que le toit piézométrique présente des fluctuations suivant une courbe concave. Cette concavité est liée au niveau de l'eau dans le Sourou et selon le domaine pédologique. Au piézomètre P1 qui couvre le domaine ferrugineux où apparaissent en subsurface des horizons indurés des taches et concrétions, le niveau de l'eau à l'implantation du piézomètre était 0,70m, au quotidien la fluctuation du niveau de ce piézomètre est régressive jusqu'au début du mois de juin (figure 15). Il se maintient jusqu'à la fin du mois avant de remonter graduellement pour atteindre le pic vers le mois de novembre. Cette période correspond au plus haut niveau du Sourou où les gestionnaires du barrage de Lery ouvrent les vannes pour l'évacuation de l'excès de l'eau vers le Mali. On peut déduire que la présence de la nappe à cet endroit du domaine ferrugineux n'est que sporadique. Elle correspondrait à une saturation localisée aux macropores des horizons subsurfaces. A la limite il s'agirait même davantage d'une circulation préférentielle d'eau que d'une véritable nappe. Elle est le fait du haut niveau du fleuve Sourou pendant la période des crues. Ce haut niveau, quand il se maintient pendant un certain temps, envahit les rives où sont aménagés les périmètres irrigués. La réponse à cette venue d'eau dépend du type de sol et de sa perméabilité fonctionnelle. Les relevés des piézomètres 2, 3,4 (figure 15)

présentent de similitude avec celui du piézomètre P1. Les fluctuations suivent une concavité qui évolue avec le niveau du fleuve Sourou. Il semble donc qu'on retrouve la même nappe sporadique. Le niveau piézométrique du piézomètre P5 est beaucoup plus relevé. Cela peut s'expliquer par sa proximité du lit du Sourou mais toujours est-il que quand le niveau du Sourou baisse le niveau piézométrique baisse et inversement (figure 15). En tout état de cause aucun niveau de piézomètre n'affleure en surface. Toutefois le relevage du niveau d'eau dans les sols proches du lit du Sourou semble expliquer un engorgement de ces sols pendant cette période. L'engorgement en raréfiant l'oxygène dans les sols provoque la baisse de perméabilité des tissus racinaires à l'eau (Kramer, 1969). Or une alimentation minérale normale nécessite une bonne aération des racines (Heller, 1969). Dans le périmètre de Gouran, une comparaison entre l'état d'enracinement et le niveau de la nappe montre que le niveau de la nappe évolue en sens inverse que l'enracinement du riz. L'installation du riz correspond au moment où le niveau de la nappe est relevé. Au fur et à mesure que l'enracinement se développe, le niveau de la nappe baisse. Le risque d'engorgement préjudiciables sur les racines est donc faible voire nul. Par contre, le retrait du niveau de la nappe peut s'accompagner des dépôts des sels nuisibles pour les cultures mais l'analyse des sols ne présage pas des concentrations anormales en sels. On peut en définitive dire que l'impact de la nappe sur le rendement des cultures dans le périmètre irrigué gravitaire de Gouran ne présente pas des effets préjudiciables.

VII.3.2. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau d'irrigation

Les résultats de l'analyse physico chimique de l'eau d'irrigation du périmètre de Gouran sont consignés dans le tableau 16.

Tableau 16: Paramètres physico-chimique de l'eau d'irrigation du périmètre

Paramètres	canal 2ndaire	Parcelle 14	canal d'amené	canal 1aire	parcelle 25	Canal 13	valeur seuil
T°C	27,9	27,4	27,5	27,2	27	26,8	25-28
PH	7	6,9	7,0	7,0	7,0	7,0	6,8-7
cond,ds/m	0,225	0,176	0,239	0,15	0,26	0,13	1,5ms/m
k ⁺ (mg/l)	4	3	4				5ppm
Na ⁺ (mg/l)	2	4	2	2	2	2	30ppm
Ca ²⁺ (mg/l)	3,4	2,2	3,4	2,1	2,2	2,2	40ppm
Mg ²⁺ (mg/l)	2,1	2,2	2,9	2,9	2,2	2,9	6ppm
Fe ²⁺ et Fe3 ⁺ (mg/l)	0,2	0,51	0,23	0,21	0,5	0,2	2ppm
HCO ₃ ⁻	1,01	1,2	1	1,02	1,01	1,03	30ppm
Cl ⁻	20	52	26,02	32	43	14	100ppm
SO ₄ ²⁻	1,3	5	2	1,95	18	2,1	24ppm

Les résultats des cations (Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) entre eau des canaux et des parcelles ne montrent pas des teneurs plus élevées dans les parcelles mais plutôt dans les canaux sauf pour Na⁺. La mesure de la concentration en Fe total de tous les échantillons donne des valeurs inférieures à la norme d'interprétation d'une analyse d'eau d'irrigation (Peterson, 1999). Le risque d'une toxicité ferreuse compromettant les rendements des cultures est donc à écarter. La conductivité électrique (CE) renseigne sur le risque de salinité (Richard, 1954). Selon cet auteur, la qualité de l'eau d'irrigation est classée en quatre classes de risque de salinisation des sols.

CE<0.25 dS/m ; risque faible

0.25<CE<0.75ds/m ; risque modéré

0.75<CE<2.25ds/m ; risque élevé

CE>2.25ds/m ; risque très élevé

De l'échantillon de l'eau prélevé aussi bien dans les canaux comme dans les parcelles d'exploitations, il n'y a pas de différence significative dans les valeurs de la CE déterminées.

Ces différentes valeurs classent l'eau du Sourou dans la classe de risque faible de salinisation. Ce résultat confirme ceux de MCA (2010) et ceux de Siri (2012) sur le périmètre de Niassan dans la Vallée de Sourou .Cela laissent présager que l'influence de la qualité de l'eau d'irrigation sur le rendement des cultures ne présente aucun impact négatif soupçonnable. La valeur du pH tourne autour de 7 à la température $T=28,8^{\circ}\text{C}$, l'eau d'irrigation du Sourou accuse une neutralité.

VII.3.3 Relation entre Eau d'irrigation-Sol et type de spéculation

Afin d'étudier la relation entre l'eau d'irrigation tant en qualité et en quantité, les sols irrigués et les types de spéculations au niveau du périmètre, nous avons établi des courbes de conductivité électrique de l'eau et celle des différents sols en valeur moyenne (figure 16).L'adéquation entre les besoin en eau des cultures, les types de sols et la ressource disponibles sont perceptibles au tableau 17.

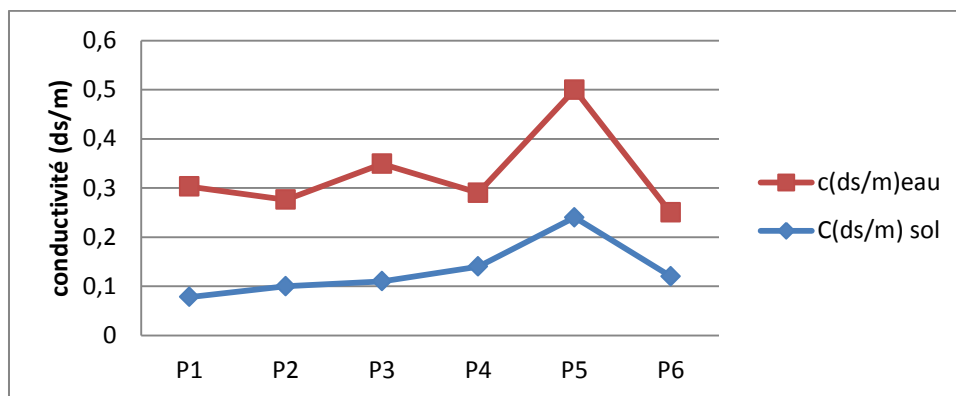


Figure 16: Relation entre eau d'irrigation et sol

Tableau 17: Rapport entre les besoins en eau, les sols et la ressource en eau

N°	Type de sol	Type de spéculation	Besoin en eau (mm)	eau	superficie (ha)
P ₁	FLTC	mais	2400		20
P ₂	BEH	oignon	550		11,6
P ₃	HPGS	riz	1280		18,5
P ₄	BEHV	riz	1280		255,2
P ₅	V V	riz	1280		39,7
P ₆	BEF	mais	2400		195
Total			9190	500M de m³	540

Nous constatons que les deux courbes suivent la même allure. Une telle superposition traduit une influence de la qualité de l'eau d'irrigation sur les sols.

Nous retenons que les besoins en eau des cultures sont minimes au regard de la disponibilité en eau du Sourou. Le manque d'eau dans les parcelles n'est pas une question de carence d'eau à la source, mais plutôt sa distribution au quotidien. Les équipements d'exhaure n'ont pas de rendement optimum pour relever le volume d'eau nécessaire à chaque tour d'eau.

Chapitre VIII : Mode de gestion de la fertilité et essai de fertilisation

Pour caractériser le mode de gestion de la fertilité des sols de notre site d'étude afin d'évaluer le stock de nutriments de ces sols, deux méthodes ont été retenues :

- L'enquête agricole
- L'essai de fertilité

VIII.1 Enquête agricole sur le mode de gestion de fertilité dans le périmètre

Pour caractériser le mode de gestion de la fertilité des sols du périmètre sur deux campagnes (Humide et campagne sèche), les exploitations de riz ont été identifiées sur le terrain. Un échantillon de 36 producteurs sur 820 a été choisi. Ce choix a été fait de façon raisonnée avec les conseillers agricoles de l'AMVS. Il s'agissait de couvrir tous les types de sols du périmètre soit 6 producteurs par type de sol.

Un questionnaire guide a été élaboré et administré auprès de ces acteurs. Il a permis de caractériser chaque parcelle par:

- ✓ les techniques de gestion de la fertilité du sol (fertilisation organique et minérale, quantité et qualité apportée, mode d'application des fumures),
- ✓ le mode de gestion des résidus de récolte,
- ✓ les rendements obtenus en pratique paysanne au cours des deux campagnes.

VIII.2.Traitement et analyse statistique des données

Le tableur Excel 2007 a été utilisé pour la saisie et la correction des données. Ces données ont été transférées dans le logiciel de statistique générale GENTSTAT Discovery version 4 pour une analyse de variance. A l'issue de l'ANOVA, le test de Student-Newman-Keuls a été utilisé pour la comparaison des moyennes au seuil de 5%. Le logiciel SPSS version16 a été utilisé pour le dépouillement et l'analyse des données d'enquête.

VIII.3 Essai de fertilité

L'essai de fertilité participe au diagnostic de la fertilité des sols, il permet d'évaluer le stock de nutriments de ces sols ; de déterminer les éléments limitant le rendement des cultures et d'estimer les besoins de ces cultures. A l'issue de ce test, des informations collectées sont exploitées pour formuler des recommandations en vue d'augmenter le rendement.

VIII.3.1 Dispositif expérimental

La conduite des essais sur le terrain a été effectuée suivant le dispositif composé de 4 blocs avec 5 traitements (figure 17). Chaque bloc est composé de 5 parcelles élémentaires. Une parcelle élémentaire a une surface de 20m² (5mx4m). L'expérimentation est réalisée avec la

variété NERICA FKR 62 N sur deux campagnes (sèche et humide). Les paramètres mesurés sont les rendements en paddy et en paille.



Figure 17: Dispositif d'essai de fertilisation

Traitements :

T1:correspondant au témoin absolu ;

T2: Dose minérale recommandée (200kg/ha de NPK et 150kg/ha d'urée) ;

T3 Dose minérale recommandée plus du Zinc ;

T4 Dose minérale recommandée plus la matière organique recommandée (5T/ha)

T5 Dose minérale recommandée plus paille de riz 3T/ha

L'expérimentation a été réalisée sur trois types de sol avec le même dispositif (HPGS, BEHV, V V).

VIII.3.2 Exécution des travaux

Elle a consisté d'abord à un labour suivi d'un hersage à l'aide de charrue et herse bovines. Les parcelles ont ensuite été mises en boue, suivi d'un planage (nivellement) afin de permettre une meilleure maîtrise de la lame d'eau.

La pépinière est réalisée sur des planches parfaitement nivelées et boueuses. Les semences utilisées sont des semences améliorées fournies par les coopératives.

Le repiquage obéit à un écartement de 20 X 20 cm avec 2 plants par poquet soit une densité d'environ 250 000 plants/ha.

VIII.3.3 Irrigation

L'irrigation a été faite à la raie, le maintien de la lame d'eau dans la rizière a été fonction des besoins en eau de la plante à ses différents stades phénologiques. Les parcelles élémentaires sont séparées par des diguettes de 30 cm et chacune des parcelles est irriguée individuellement.

VII.3.4 Apport des fertilisants

Un premier apport de fumure a été fait 15 jours après le repiquage et le second apport d'urée a été effectué 40 jours après le repiquage.

VIII.3.5 Désherbage

Deux opérations de désherbage ont été effectuées, une avant l'apport de la première fraction d'engrais et la seconde un mois après.

VIII.3.6 Suivi des parcelles

Des suivis réguliers sur les parcelles ont été effectués tout au long du cycle de développement de la culture; cela avait pour but de veiller à la bonne conduite des essais, l'observation du comportement des plants aux différents traitements. Les paramètres mesurés sont essentiellement les rendements en riz paddy et en paille estimés à la parcelle et extrapolés à l'hectare. La récolte a été faite sur toute la superficie. Les effets de bordures ont été minimisés compte tenu de la mise en place des diguette freinant les transferts de nutriment entre les parcelles élémentaires.

VIII.3.7 Traitement et analyse statistique des données

Tout comme pour les enquêtes, le tableur Excel 2007 a été utilisé pour la saisie et la correction des données. Ces données ont été transférées dans le logiciel de statistique générale GENTSTAT Discovery version 4 pour une analyse de variance. A l'issue de l'ANOVA le test de Student-Newman-Keuls a été utilisé pour la comparaison des moyennes au seuil de 5%.

VIII.4 Résultats et Discussions des modes de gestion de la fertilité

VIII.4.1 Résultats

On constate que la fertilisation est assurée par la fumure minérale et la fumure organique. En effet, 83,4% des champs sont fertilisés par une combinaison des deux fumures contre 16,6% par la fumure minérale uniquement (Tableau 18).

Tableau 18: Type de fumure appliquée.

Fumures	Nombre d'observations	Pourcentage
Engrais minéral uniquement	6	16,6
Engrais minéral et organique	30	83,4
Total	36	100

On trouve une diversité de matière organique pour la fertilisation organique. 63,9% des producteurs utilisent le compost, 16,7% utilisent de la paille non décomposée issues de la récolte antérieure et 8,3% des producteurs apportent du fumier provenant des animaux (tableau 19).

Tableau 19: Type de matière organique (MO) appliquée

Matière organique	Nombre d'observations	Pourcentage
Fumier	3	8,3
Compost	23	63,9
Paille non décomposée	6	16,7
Néant	4	11,1
Total	36	100

On remarque que les doses et les fréquences d'apport varient d'un producteur à un autre, avec une moyenne de 2092,37 kg/ha. 40,0% des producteurs apportent la matière organique chaque deux campagnes, 28,6% l'apportent à chaque campagne et 20,0% apportent dès que

disponible. Chez tous les producteurs la fumure minérale utilisée est apportée sous forme de NPK de formule 14-23-14-6S-1B à la dose de 200 kg/ha et d'urée à la dose de 200 kg/ha. L'épandage se fait manuellement à la volée. L'apport de l'urée se fait suivant deux modes à la volée dans 94,4% des cas où la dose est fractionnée en deux apports ; ou sous forme de granule enfoui. 5,5% des producteurs utilisent les deux modalités d'apport d'urée (tableau 20).

Tableau 20: Mode d'utilisation d'urée

Mode	Nombre d'observation	Pourcentage
Volée	34	94,5
Pratique les 2 (volée et urée granulée)	2	5,5
Total	36	100

La période d'apport se situe entre 7 à 14 Jour pour le premier et 30 à 40 Jour pour le deuxième apport. Quant au mode d'utilisation de la matière organique, 41,7% des producteurs épandent et enfouissent au labour la matière organique, 41,7% le font au premier hersage avant le repiquage et 8,3% épandent et enfouissent au repiquage (tableau 21).

Tableau 21: Mode d'utilisation de la fumure organique

Mode	Nombre d'observation	Pourcentage
Epandage et enfouissement de la paille non décomposée et du compost au labour	15	41,7
Epandage et enfouissement du compost et du fumier au hersage	15	41,7
Epandage et enfouissement du compost et du fumier au repiquage	3	8,3
Pas d'apport	3	8,3
Total	36	100

Gestion des résidus de récolte

Le tableau 22 montre le mode de gestion des résidus de récolte en fonction des différentes classes d'années d'expériences en riziculture des producteurs. Dans la majorité des cas, les résidus de récolte sont retournés au sol (88,4%) sous diverses formes (compost, paille non compostée, déchets de bétail). Cependant la forme la plus dominante est le compostage

(51,4%) pratiqué majoritairement par la classe 21-25 années d'expérience. Ainsi on remarque une interaction entre l'expérience en riziculture et le mode de gestion des résidus de récoltes. En effet la brûlure des résidus est pratiquée par une infime portion des producteurs (2,9%) et cette pratique disparaît avec l'évolution du niveau d'expérience des producteurs, elle est exclusivement pratiquée par les moins expérimentés.

Tableau 22: Effet de l'expérience en riziculture sur la gestion des résidus de culture

Expérience (année)	Gestion paille					Total (%)
	Brûlés (%)	Alimentation bétail (%)	Compost (%)	Paillage enfoui pendant le labour (%)	Exporté (%)	
0-5 ans	0,0	2,9	8,6	0,0	2,9	14,3
6-10 ans	2,9	0,0	8,6	5,7	0,0	17,1
11-15 ans	0,0	0,0	5,7	8,6	0,0	14,3
16-20 ans	0,0	5,7	11,4	5,7	0,0	22,9
21-25 ans	0,0	2,9	14,3	0,0	2,9	20,0
26-30 ans	0,0	0,0	2,9	2,9	2,9	8,6
31-35 ans	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	2,9
Total (%)	2,9	11,4	51,4	25,7	8,6	100

Proposition paysanne de la gestion de la fertilité des sols

Le niveau de la fertilité des sols est perçu de diverses manières par les producteurs. En effet, 77,1% des producteurs trouvent le niveau de fertilité de leur sol en baisse progressive, ceci à travers la chute des rendements de façon récurrente, 5,7% le trouve bas. Par contre 5,7% le trouve élevé dû au bon rendement obtenu chaque campagne et 11,4% trouvent le niveau fertilité de leur sol moyen. Face à cette situation, pour restaurer ou maintenir le niveau de fertilité des sols 94,5% des producteurs trouvent la nécessité d'apporter de la fumure organique de manière régulière, et 5,5% trouvent nécessaire d'apporter beaucoup plus d'engrais minéral (tableau 23).

Tableau 23: Solution paysanne pour la restauration de la fertilité des sols

Solutions	Nombre d'observations	Pourcentage
Apport fréquent de la fumure organique	34	94,5
Apporter beaucoup plus d'engrais	2	5,5
Total	36	100

Rendement en pratique paysanne

Les rendements moyens en paddy obtenus en campagne sèche et en campagne humide sont représentés dans le tableau 24. Ils varient d'une campagne à une autre. Les meilleurs rendements sont obtenus en campagne sèche.

Tableau 24: Rendement paddy en pratique paysanne par variété en 2013.

	Variété	Nombre d'observations	Rendement moyen (kg/ha)
Campagne sèche	FKR 19	16	4921
	FKR 62 N	11	4410
	TS2	9	4914
Campagne humide	FKR 19	2	4368
	FKR 62 N	32	4124
	TS2	2	4290

VIII.4.2 Discussion de l'enquête agricole sur le mode de gestion de la fertilité

Selon Tel (1981), l'absorption des éléments nutritifs du sol par les cultures ne peut s'opérer indéfiniment. Il faut rendre au sol ce qu'il a perdu grâce à l'apport d'engrais organiques ou inorganiques ; les quantités apportées correspondant aux quantités absorbées par les plantes et à celles perdues par lixiviation, érosion ou fixation (par dénitrification dans le cas de l'azote). Les carences en éléments nutritifs affectent la croissance des végétaux et réduisent leur rendement agricole. La matière organique est un élément indispensable au maintien de la stabilité de la structure des sols par le biais de la porosité qu'elle améliore. Son apport contribue à l'amélioration de la capacité de rétention en eau et permet de diminuer la fréquence de l'irrigation Zida (2005). De par sa minéralisation et son importance dans la dynamique de l'azote, elle influence directement la nutrition des plantes et les propriétés physico-chimiques des sols (Sedogo et al. 1994). De nombreux auteurs dont Pieri (1989) et Sedogo (1981) constatent que la baisse de la teneur en matière organique dans le sol est la

cause majeure de l'appauvrissement chimique des sols. Cette assertion corrobore le constat fait sur le périmètre de Gouran. Les engrais chimiques ont pour rôle essentiel d'apporter les éléments nutritifs aux plantes. Ils sont appréciés pour leur effet rapide et leur facilité d'emploi comme le souligne Kekeh (1999). Le constat dans le périmètre de Gouran est que leur dose et fréquence d'application échappent aux agriculteurs.

On remarque sur certaines parcelles une utilisation continue et exclusive d'engrais chimiques de type NPK, ce qui peut entraîner l'acidification du sol, son appauvrissement en oligo-éléments et à moyen terme, la diminution de la production. Ainsi leur utilisation doit être couplée à des amendements et particulièrement organo-minéraux (apport de matière organique, chaulage, phosphate...) pour une agriculture durable. Pour les sols encore suffisamment fertiles, cette fertilité peut être maintenue par une meilleure gestion de la MO.

Dans les pays de l'Afrique sub-saharienne, les sols sont exploités sans ou avec très peu d'apport d'engrais organiques et minéraux. C'est pourquoi certains auteurs comme Bationo (1994), caractérisent l'agriculture africaine de manière « en ce sens qu'elle prélève du sol, chaque année, plus d'éléments nutritifs qu'elle n'en retourne au sol » ; c'est l'une des causes de dégradations des sols.

La fertilité des sols est définie selon Adjétey-Bahun (1991) comme l'aptitude de ceux-ci à fournir (en quantité optimale et au moment opportun) aux plantes cultivées tous les facteurs nécessaires à leur croissance et à leur production. Pour le périmètre de Gouran, il faut une gestion intégrée de la fertilité qui se réfère à la meilleure utilisation des stocks d'éléments nutritifs du sol, des amendements localement disponibles et des engrais minéraux dans le but d'augmenter la productivité des terres tout en maintenant voire en augmentant la fertilité du sol. La FAO (2000) utilise le terme de Gestion Intégrée des Nutriments du Sol, un terme voisin de la GIFS et propose une définition qui semble beaucoup plus vaste. En effet, ce terme englobe le sol, les aliments, l'eau, les récoltes et les procédés de gestion de la végétation adaptés à un système particulier d'emblavage et d'exploitation des terres, entrepris dans le but d'améliorer la fertilité du sol et d'augmenter la productivité.

La GIFS est une stratégie regroupant un certain nombre d'options technologiques :

- ✓ L'amendement du sol à travers l'amélioration du taux de matière organique (engrais vert, agroforesterie, résidus de récolte,...) ; du capital du phosphore (phosphates naturels, engrais phosphatés solubles) et/ou du pH du sol (dolomie, gypse,...) ;
- ✓ les méthodes d'élévation de la fertilité des sols à des niveaux de production agricole plus intensive à travers une combinaison optimale des fertilisations organiques et minérales;

- ✓ Les méthodes complémentaires pour améliorer la productivité des terres, de la main-d'œuvre et du capital investi (méthodes de conservation des eaux et des sols, variétés améliorées, traction animale ...).

Les résidus de récolte font l'objet de plusieurs utilisations dans les activités des producteurs, Ils peuvent être utilisés comme fourrage, énergie ou comme matériaux de construction d'infrastructures diverses et de confection d'articles artisanaux. Dans ces cas de figures les résidus ne sont pas retournés au champ et donc les nutriments qu'ils contiennent sont perdus pour les champs d'où ils ont été exportés. Dans un bon environnement et chez les producteurs avertis, les résidus de récolte sont toujours incorporés dans les sols ou bien ils les recyclent par les animaux ou encore par la production du compost. En effet, les résidus de récolte selon la culture contiennent beaucoup de nutriments dont le recyclage permet de retourner une partie des éléments exportés par la culture des champs. En effet selon De datta, (1981) pour une variété de riz de rendement 5t/ha, 110 kg N, 34 kg P₂O₅, 156 kg K₂O, 23 kg MgO, 20 kg CaO, 5 kg S de nutriments sont exportés par ha à travers le paddy et la biomasse. Les exportations seraient moindres si les résidus de récolte sont retournés au sol.

VIII.5 Essai de fertilité

VIII.5.1 Résultats

Les résultats de l'analyse de variance ont montré que les traitements présentent en saison sèche une différence hautement significative (tableau 25). Les meilleurs rendements en paddy et en paille (7329 et 9229 kg/ha) sont obtenus avec le traitement T5 suivi de T4. Le plus faible rendement en paddy et paille (4415 et 4988kg/ha) a été obtenu avec le traitement T1. La différence est aussi hautement significative en saison humide. Le meilleur rendement paddy (7556 kg/ha) est obtenu avec le traitement T4 alors que les plus faibles en paille et en paddy sont obtenus sur le T1. Par contre le meilleur rendement en paille est obtenu avec le traitement T5 (10219kg/ha).

Tableau 25: Effets des traitements sur les rendements du riz.

Traitements	Campagne sèche		Campagne humide	
	Rendement paddy	Rendement en paille	Rendement paddy	Rendement en paille
T1	4415 ^a	4988 ^a	4588 ^a	5975 ^a
T2	5754 ^b	6754 ^b	6438 ^b	6812 ^{ab}
T3	6938 ^c	7850 ^c	6688 ^b	8562 ^{abc}
T4	7225 ^c	8075 ^c	7556 ^b	9388 ^{bc}
T5	7329 ^c	9229 ^d	7488 ^b	10219 ^c
Signification	THS	THS	THS	THS
CV (%)	15,2	16,8	25	28,9
Lsd	674,2	979,4	1662	2402,7
probabilité	<0,001	<0,001	<0,006	<0,005

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Duncan; THS = Très Hautement Significatif ($P < 0.001$), HS= Hautement Significatif ($P < 0.01$), S = Significatif ($P < 0.05$), LSD : plus petite différence significative, CV= coefficient de variabilité

VIII.5.2 Discussion de l'essai de fertilité

L'analyse des résultats des rendements montre des différences significatives entre les différents traitements (tableau 24). Par contre l'analyse n'a pas montré de différence significative des rendements selon les types de sols. Ce qui confirme que les sols appartiennent à la même classe de fertilité. Pour les traitements, la réponse du riz par rapport à l'apport des doses minérales recommandée est très moyenne soit +1000kg/ha comparativement au témoin. L'apport du zinc à la dose recommandée entraîne une réponse encore très positive du riz. La différence de rendement est de 1522.2kg/ha entre T3 et T2 et de 2526kg/ha entre T1 et T3. La dose de 5T/ha complémentaire de matière organique à la dose recommandée s'accompagne d'une augmentation de rendement, il en va de même de l'apport supplémentaire de paille de riz. Il y a donc une forte réponse du riz aux apports minéraux complémentaires. Ce qui signifie que les sols sont en voie d'une dégradation chimique. Les

meilleurs rendements sont obtenus avec les traitements qui bénéficient d'apport de la matière organique. Ce qui confirme que les sols accusent une déficience en azote et en phosphore.

En effet, le niveau d'alimentation azotée de la plante dépend de l'adéquation entre l'évolution des besoins en azote de la plante au cours du cycle et la disponibilité en azote dans le sol. Il est donc nécessaire de définir les stades clés auxquels les engrais azotés doivent être apportés. Selon Yoshida (1981) la formation de la jeune panicule et celle du nombre d'épillets sont sous le contrôle de la nutrition azotée. L'azote peut provenir des apports extérieurs sous forme d'engrais minéral ou par minéralisation de la matière organique.

Les résultats des essais ont montré que les traitements T4 et T5 ont donné les meilleurs rendements paddy et paille. Les plus faibles rendements sont obtenus avec le traitement témoin. Aussi, il a été constaté que les sols sont carencés en matière organique. A cela il est à ajouter la perte probable des minéraux par lixiviation. Tous ces facteurs concourent à la baisse en éléments minéraux. Un apport d'engrais et de matière organique a donc un effet positif sur le rendement. Les vertisols vertiques (VV) qui composent le périmètre de Gouran, accusent des faibles rendements par rapport aux sols bruns hydromorphes (BEH) et les sols bruns eutrophes hydromorphes vertiques (BEHV) voir page 86. Ce qui permet de faire le lien entre ce résultat et le niveau de la nappe qui est assez relevé dans ce sol pendant certaine période de l'année qui, en s'abaissant par la suite pourra laisser des sels carbonaté qui seront absorbés par le complexe argilo-humique. Cette saturation pourrait être préjudiciable aux plantes par la suite de ce dépôt de sel dans la zone racinaire lors du rabattement de la nappe. Ce fait est connu par Umali (1993). Le dépôt de sel peut non seulement inhiber l'absorption des éléments minéraux mais aussi occasionner de déficit hydrique chez la plante au niveau racinaire. Cette hypothèse est peu probante sur le périmètre de Gouran dans la mesure où l'analyse des sols ne montre pas un taux anormale de sel. On constate par ailleurs qu'il ya une différence significative entre les rendements suivant les saisons. Le rendement en saison humide reste supérieur à celui de la saison sèche. Cela peut s'expliquer par la maîtrise de l'eau défailante en contre saison (Bethemont, opcit 2003).

Augmenter les performances techniques des cultures irriguées reste encore possible, puisqu'en riziculture le potentiel est supérieur à 8 t/ha. D'ailleurs, un nombre croissant de riziculteurs récolte plus de 7 t/ha de paddy (IPTRID, 2004). Il est à constater tout de même que, l'évolution des rendements laisse voir une hiérarchisation des éléments N, P et K. Cette évolution montre que les éléments N et P sont de façon équivalente, les deux éléments limitatifs de la production du riz dans le périmètre de Gouran. Les analyses de sols confirment ce principe. En terme de rendement la moyenne mondiale en paddy est d'environ 3,9

tonnes/ha dans tous types de riziculture confondue mais il va de 3 à 12 tonnes/ha en riziculture irriguée. Les records de rendement sont respectivement 6,1 ; 7,2 et 9,5 tonnes/ha de paddy dans les rizicultures irriguées et intensives de Chine, des Etats-Unis et d'Australie (Andrianarisoa, 2004). Au Burkina Faso le rendement en culture irriguée varie de 3 à 6 tonnes. Dans la vallée du Sourou ce rendement varie de 3,4 à 5,4 tonnes/ha (AMVS, 2010). Une des composantes majeures dans la productivité de la riziculture irriguée est l'alimentation azotée en ce sens qu'elle affecte toutes les phases dont dépend le rendement du riz. Les engrais azotés sont ceux qui donnent la meilleure réponse en riziculture. L'action la plus manifeste se traduit par le verdissement rapide et la croissance de la végétation (Dobelmann, 1976). Nos résultats sont en accord avec ceux de la FAO (2002) ; l'IFDC (2008) ; Bandaogo (2010) sur les aménagements de Dédé au Sourou. Selon ces auteurs, l'azote et le phosphore sont les éléments majeurs limitant la production céréalière. Selon Segda (2006), l'azote est l'un des éléments les plus importants qui peut être limitant pour la croissance et le développement du riz dans les conditions aussi variées que celles dans lesquelles se pratiquent la riziculture en général. Les travaux de Wopereis *et al.*, (1999) montrent que l'azote joue un rôle important dans le rendement des cultures. Les résultats de Pieri (1989) ont montré que le phosphore est l'élément le plus déficitaire dans les sols de savane au Sud du Sahara, mais qu'il demeure l'élément le plus facilement maîtrisable par la fertilisation grâce à sa faible mobilité et son faible niveau d'utilisation par les cultures. La déficience en azote est généralement considérée comme la principale cause des baisses de rendement (Narteh et Sahrawat, 1997; Cassman *et al.*, 1998 ; Fageria et Baligar, 2001).

Le déficit d'azote entraîne la réduction du nombre de talles, réduisant ainsi le nombre de panicules et de grains. Ces composantes expliquent une grande partie de la variabilité du rendement (Dicko, 2005). Plusieurs causes peuvent être à la base d'un déficit en azote du riz:

- la faible fertilité du sol provoquant une faible fourniture en azote minéral ;
- l'insuffisance et la faible efficacité des apports d'azote sous forme d'engrais ;
- la période d'assèchement prolongée pendant la croissance du riz

L'efficacité d'absorption de l'azote minérale varie de 20% à 60% en fonction des conditions (type de sol, maîtrise de l'eau, pH et température de l'eau), des doses et des modalités d'apport (fractionnement ou non) et des variétés (CIRAD-GRET, 2006).

De manière globale, sur le périmètre de Gouran, la gestion de la fertilité des sols dans le système de culture est surtout basée sur l'utilisation de la fumure minérale, et dans la majorité des cas la fumure organique y est associée. L'utilisation de la fumure organique n'est pas effective pour toutes les exploitations même si on note une grande majorité des utilisateurs.

Ce cercle s'agrandit grâce aux différentes formations reçues par les producteurs sur les techniques de la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS). Aussi les plus expérimentés ont eu la chance de bénéficier de plus de formations par le passé et ont beaucoup plus d'expérience sur les bonnes pratiques de la riziculture et de la gestion de la fertilité des sols, ce qui justifie la bonne gestion des résidus de récolte par cette classe. Malheureusement les quantités apportées en moyenne demeurent assez faible du fait de la concurrence avec l'élevage sur les résidus de récolte. En effet la baisse de la fertilité des terres en Afrique subsaharienne est le plus souvent accompagnée d'un déficit du bilan organique (Berger, 1996). Le mode d'apport de la fumure est très important pour la plante, elle doit être apportée de sorte à être disponible pour la plante à la bonne période et à diminuer les pertes d'où un meilleur taux de recouvrement des engrais. Les engrais sont apportés majoritairement à la volée par les producteurs causant beaucoup leur perte en particulier en azote. Seulement 31% de l'azote apporté sous forme d'urée à la volée sont utilisés par le riz (Segda, 2006), ce qui crée un écart entre les besoins et la disponibilité en azote pour la plante dans les exploitations rizicoles. Les faibles niveaux de fertilité des sols relevés par les producteurs se traduisent par les niveaux un peu faibles de rendements observés en pratique paysanne. Ils n'obtiennent en moyenne que la moitié ou les 2/3 du potentiel des variétés qui sont de 7 à 9 tonnes/ha en saison sèche. Ces rendements inférieurs au potentiel de la variété sont d'une part liés à la baisse de fertilité des sols et d'autre part aux options de fertilisants utilisées et leurs modes d'application dans le périmètre de Gouran en particulier et sur l'ensemble des périmètres rizicoles de la plaine du Sourou en général. La détermination de la capacité nutritive des sols est donc nécessaire pour l'utilisation de bonnes options de fertilisants dans le périmètre de Gouran.

Conclusion Générale et perspectives

Notre étude est une contribution à l'accroissement de la production agricole dans le périmètre irrigué de Gouran. Elle a montré que la baisse de rendement est liée à :

- la déficience en éléments fertilisants (matière organique, azote, phosphore assimilable) qui sont en fait des éléments majeurs indispensables à la croissance végétale ;
- la défaillance hydraulique : faible débit et non constant, non-respect du tour d'eau.

Le problème d'eau se pose avec acuité au niveau du périmètre irrigué de Gouran non pas par manque de ressources en eau disponible, mais plutôt par sa mauvaise gestion. De nombreuses difficultés ont été observées sur le déroulement de la distribution d'eau d'irrigation. Ces difficultés sont liées à l'état de dégradation et de vétusté des infrastructures du périmètre et aux comportements des usagers qui pratiquent le trafic d'eau d'irrigation.

L'étude montre aussi que l'optimisation du rendement sur le périmètre passe nécessairement par le respect des itinéraires techniques et le calendrier cultural diffusés sur le périmètre et une meilleure gestion de l'eau et de la fertilité.

L'assurance qualité de la maintenance, le contrôle régulier de l'état de fertilité sont autant des facteurs indispensables pour la pérennisation du périmètre de Gouran.

A travers ces résultats, il a été constaté que nos hypothèses de départ se vérifient à tous les niveaux :

- 1- La gouvernance agricole demeure un challenge au périmètre de Gouran. Si les textes juridiques qui gouvernent le bon fonctionnement du périmètre existent, ils ne sont ni respectés par les producteurs ni appliqués par les gestionnaires. La preuve qui justifie cet argument est que la pratique du siphonage d'eau d'irrigation est répréhensible alors que le degré d'application de la sanction est nul. Ce laissé aller à une incidence évidente sur la baisse de la production agricole dans le périmètre en campagne de contre saison.
- 2- La maintenance agricole est caractérisée par un environnement socioprofessionnel inadapté qui fait que les machines connaissent des pannes intempestives avec des temps de remise en fonctionnement souvent rallongés (7 jours) avec la conséquence que les tours d'eau ne sont pas respectés et les besoins en eau suivant les stades de développement des cultures ne sont pas satisfaits. Ce qui compromet le rendement dans le périmètre.
- 3- L'hydropédologie impacte le rendement par une gestion de la fertilité déficiente en matière organique. L'analyse des sols montre que l'azote et le phosphore sont des éléments limitant du rendement dans le périmètre de Gouran. Toutefois les sols

appartiennent tous à la même classe de fertilité c'est-à-dire moyenne. Ce qui peut faciliter une meilleure politique de gestion de la fertilité sur ce périmètre.

Par contre l'influence de la qualité de l'eau d'irrigation et de la nappe phréatique sur le rendement est mineure voire nulle sur ce périmètre irrigué. La production agricole dans le périmètre de Gouran s'est révélée surtout tributaire des contraintes hydrauliques et pédologiques.

En perspective, il va sans dire que l'essai de fertilisation a montré que les meilleurs rendements sont obtenus avec les traitements ayant un ajout en matière organique. Les prochaines études devraient caractériser la fumure organique pour s'assurer de ses qualités et ses doses nécessaires pour l'amélioration de la fertilité des sols. Elles devraient aussi mettre en place un mécanisme de vulgarisation et d'approvisionnement pour faciliter son accès et son utilisation par les producteurs dans le périmètre de Gouran.

Enfin l'optimisation de la maintenance agricole dans les périmètres en Afrique est un aspect sur lequel la recherche doit s'orienter pour la promotion de l'agriculture irriguée.

En outre, une formation des encadreurs et des responsables des coopératives aux méthodes d'établissement du tour d'eau et à la maîtrise des ouvrages de répartitions d'eau permettra de contribuer efficacement à l'amélioration des conditions de distribution d'eau d'irrigation du périmètre irrigué.

Références bibliographiques

- Abernethy C.L., Sally M.H., Jamin J 2005 . Experiences of some government-sponsored organization of irrigators in Niger and Burkina Faso, West Africa, 73p
- Adjetei-Bahun E.A., 1991. Mise en place et entretien des plantes agricoles : cours de phytotechnie générale, deuxième partie, Vol.104, pp 263-271.
- Amadji G., 1999. Cours de pédologie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Nationale du Bénin.105p
- AMVS, 2009. Rapport d'activités du deuxième trimestre 2009. Di, 22p.
- AMVS, 2010. Plan stratégique 2010-2025.Di, 49p.
- AMVS, 2012. Rapport final d'activités, test du placement profond des granules d'urée,
- Andrianarisoa K.S., 2004. Expérimentation agronomique sur l'effet de l'inoculation de la riziculture pluviale par les exsudats racinaires des plantes de riz en SRI au stade plein tallage, mémoire de fin d'étude d'ingénieur, Université d'Antananarivo, 126p
- Aquastat., 2005. L'irrigation en Afrique en chiffres, 65p.
http://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr29_fre.pdf (10/09/2014)
- Bandaogo A., 2010. Amélioration de la fertilisation en riziculture irriguée dans la vallée du Kou à travers la technologie du placement profond de granules d'urée, mémoire DEA UPB, 66p
- Banque mondiale, Caron, Madramootoo et Fyles., 2010. Les impacts et les adaptations associés au changement climatique sur les industries, 100p
- Bassala J.P.O., 2005. Evolution de la fertilité des sols dans un système cotonnier et céréales au Nord Cameroun: diagnostic et perspectives, TROPICULTURA, 2008, 26, 4, 240-244 6p.
- Bussereau J., 1977. Land Evaluation criteria for irrigation: Rapport of an expert consultation. Proo. ISSCT, 15th Congr., 726-735.
- Bationo A., 1994. Gestion de la fertilité des sols, FAO : cours de formation sur le travail du sol pour une agriculture durable, 54p.
- Berger M., 1996. L'utilisation de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. Agriculture et développement. Fiche technique N°40.
- Betemont J., De marchi M., Faggi P., Zoungrana T.P., 2002. La valle du Sourou (Burkina Faso): per una geografia della territorializzazione hydraulica in Africa,Rivista Geografica Italiana, 109p.

- Bethemont J., Faggi P., Zoungrana T.P., Diallo., 2003. La vallée du Sourou, Genèse d'un territoire hydraulique dans l'Afrique soudano-sahélienne. Paris : L'Harmattan, Cahiers Agricultures janvier-février 2002, volume11, N°1.
- Black C.A.,1992. Soil Fertility Evaluation and Control. Lewis Publ.746p.
- Blavet H.,Gerhard H.,Vogel N.,1990.De la haie aux bocages: organisation, dynamique et gestion. Faç SAD n°5 Janvier-Mars,4p.
- Boko A., Kpagbin A.G.,1997.Bilan des éléments nutritifs du sol dans la Sous /préfecture de Bonneval P., Kuper M., Tonneau J.P., 2002. L'Office du Niger grenier à riz du Mali : Succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement. Montpellier ; Paris : Cirad éditions ; Karthala.
- Boivin.M., 2002. Les sols ferralitiques : facteurs de fertilité et utilisation des sols, Tome X. ORSTOM, 383 p.
- Bouderbala N., Mohamed M., Mangatalla M.,1992. Les périmètres irrigués en droit comparé africain,156p.
- Boulaine J., 1981. Drainage agricole. Théorie et pratique. Chambre d'agriculture Bourgogne 509p.
- Brabant P., Darracq S., Egué K., Simonneaux V.,1996. Togo. État de dégradation des terres résultant des activités humaines. Notice explicative de la carte des indices de dégradation. Explanatory note of the land dégradation index. Collection Notice explicative, n° 112, ORSTOM, Paris. 57 pp. + carte 1/500 000.Carte sur le site de l'IRD.
- Brand E., Premchitt W.J., 1980. Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. Bulletin trimestriel .Juillet-août-septembre 2008 sur la sécurité alimentaire n° 8. www.cedres.bf/IMG/pdf/BULLETTIN_TRI_Numero_8_2008.pdf.(12/10/2011)
- BUNASOLS, 1987. MÉTHODES d'analyse physique et chimique des sols, eaux et plantes, Documentations techniques n°3,105p
- BUNASOLS, 1989. MÉTHODOLOGIE de prospection pédologique, documentations techniques n°156,76p
- BUNASOLS, 1978. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions du Burkina Faso : Caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole
- BUNASOL, 1998. Etude morpho-pédologique de la province du Kadiogo. Bureau National des Sols du Burkina, 46 pp.
- BUNASOLS, 1990. Manuel pour l'évaluation des terres . Documentations techniques

n° 6, Ouagadougou, p.181

C.P.C.S., 1967. Classification française des sols Inéra Paris Grignon. Edition 1967 ,87p

Camille C., 1997. Les matériels de fertilisation et de traitement des cultures : technologies de l'agriculture. Collection FORMAGRI, volume 4/5, 1^{ère} édition, 343p.

campagne humide 2012, Di.12p.

Cassman K.G., 1998. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems. *Field Crops Research* 56 (1-2): 7-9.

Chapman D., Mims V., 1996. Selection of water quality variables Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E and FN Spon, London, 59-126

Cheverry C., 1974. Contribution à l'étude pédologique des polders du Lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental subaride dans les sédiments argileux et organiques. Thèse Science, Université de Strasbourg, 257p.

CIRAD – GRET., 2006. Memento de l'agronome. Jouve (France, 11 bd de Sébastopol, 75001, Paris n°312091 Y. 799 – 811.

Compaoré M.L., Blanchet B, Rigourd C, Hermiteau I., 2002 .Vers une professionnalisation des fonctions hydrauliques des périmètres irrigués en Afrique de l'Ouest Sud Sciences et Technologies (28) : 28-40.

Caron L., 2008. Optimisation de l'irrigation de la culture d'oignons en sols organiques Projet no. 5437

Coulibaly Y.M, Béliers J.F, Koné Y., 2006. Les exploitations agricoles familiales du périmètre irrigué de l'Office du Niger au Mali : évolutions et perspectives. *Cah Agric* 15 : 562-9. doi : 10.1684/agr.2006.0024.

Coward J., 1980. School of earth and Environment sciences, university of Portsmouth, Burnaby Road. Portsmouth. PO1 3QL, UK. De datta S.K., 1981. Principles and practices of rice production. RRI Los Banos (Philippines) ,618 p.

Dialla Basga Emile, 2003. La question foncière sur les périmètres hydro-agricoles du Burkina Faso/DT-CAPES N°2003-07

Dicko M., 2005. Analyse du fonctionnement d'une parcelle de riz irriguée sur sol alcalin. Application à la gestion intégrée de la fertilisation azotée et du calendrier cultural dans

- le delta intérieur du fleuve Niger, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France, 153p.
- Dobelmann J.P., 1976. Technique vivantes” Riziculture pratique 1. Riz irrigué. 220p.
- Dominique S., 1996. Les bases de la production végétale. Tome I : le sol et son amélioration
- Duchaufour Ph., Blum W.E.H., 1997. Abrégé de pédologie : sol, végétation, environnement. Masson
- El Alaoui M., 2004. Les pratiques participatives des associations d’usagers de l’eau dans la gestion de l’irrigation au Maroc : étude de cas en petite, moyenne et grande hydraulique, Actes du Séminaire modernisation de l’agriculture irriguée. Projet Inco-Wademed, Rabat, du 19 au 23 avril 2004, p. 146-163.
- Ezui K.S., 2001. Evaluation et adaptation du modèle QUEFTS dans la prédiction derendement de l’arachide dans les conditions agro-écologiques du Togo : cas typique de sagba, Mémoire d’Ingénieur Agronome, UL-ESA, Lomé, Togo, 108 p.
- Faggi P., Mozzi P., 2000. La territorialisation hydraulique dans la Vallée du Sourou (Burkina Faso), Université de Padova, 78 p.
- F.A.O, 1994. DIRECTIVES pour la description des sols, édition révisée, 1994.
- F.A.O, 2000. Guidelines on integrated soil and Nutrient Management and conservation for Farmer Fields schools, vol.AGL/MIS/27/2000, Land ant plant nutrition. Management service and Land and water Developpment Division, Rome,Italie 164 p.
- FAO, 2002. Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture, Collection F.A.O Agriculture, N°27, Rome, 1994,101p.
- FAO, ISSS, ISRIC, 1999. *World Reference Base for Soils Resources*. World Soil Resource Report No. 84. Rome, 91 pages
- FAOSTAT, 2010. <http://faostat.fao.org/>
- FaranhamM., Dohme P.A.E.,1984.Waste Reuse for golf course irrigation adapté de Westcot et Ayers.
- Faucaunier G.,1991. Diversité génétiques des plantes tropicales cultivées. Dif., la librairie du CIRAD ; BP 5035 Montpellier CEDEX, 1 France.
- Faures J.M, Sonou.M.,1998. Les aménagements hydro-agricoles en Afrique Situation actuelle et perspectives, P1.
- Feller C., 2005. La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. Agriculture et Développement, 8: 35-41.

- Fottorino E., 1990. Jeune Afrique Economie N°137, Novembre 1990.
- Gaudin R., 1991. Le rôle de l'ammoniac NH_3 dans l'alimentation azotée des plantes : un problème remis à jour par l'étude de la fertilisation super granule d'urée du riz irrigué. Bull Acad. Malg. Tome 66/1-2. Pages 180-186.
- Guinko S., 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso : notice explicative. Ministère de la coopération Française. 67p.
- Hachicha M., Djelidi B., Soussi A., Brari N., 1993. La salinisation des sols dans le périmètre irrigué de la Mornaguia. ES 276, 15 p. Direction des sols-Ministère de l'Agriculture de Tunisie.
- Heller R., 1969. Biologie végétale. II. Nutrition et métabolisme. Masson et Cie, Paris, 578p.
- HienV., 1990. Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans le sol ferrallitique du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, INPL. 149p.
- Hirsch R., 2000. La riziculture africaine, importance et enjeux
- Hunt R.C., 1989. Appropriate Social Organization? Water User Associations in Bureaucratic Canal irrigation Systems." Human Organization, 48 (1): 79-90.
- IFDC., 2000. Cadre stratégique pour le développement des systèmes d'approvisionnement en intrants agricoles en Afrique. 43p.
- INSD, 2007. Résultats préliminaires du recensement général de la population et de l'habitat de 2006. In: Institut National des Statistiques et de la Démographie (INSD). Direction de la démographie, Ouagadougou, Burkina Faso
- Intizar H, Munir A., 2004. Irrigation and poverty alleviation: review of the empirical evidence Irrig and Drain 2004 53: 1-15.
- IPTRID., 2004. Identification et diffusion de bonnes pratiques sur les périmètres irrigués en Afrique de l'Ouest. Rome: FAO.
- James B., 1982. Turf Management for golf Courses, Macmillan Publishing.
- Janin P., 2010. La lutte contre l'insécurité alimentaire au Sahel : permanence des questionnements et évolution des approches. Cah Agric 19P 177-84.684/agr.2010.0393.
- Jensen E.S., 1994. "Dynamics of mature pea residue nitrogen turnover in unplanted soil under field conditions." Soil Biology and Biochemistry 26: 455-464.
- JICA., 1994. L'étude du plan directeur d'aménagement du bassin supérieur du Mouhoun au Burkina Faso. Volumes 123. (Japanese International Cooperation Agency).

- Keita A., 2009. Cours d'irrigation Gravitaire à 2iE, 90p
- Kekeh T.K., 1999. Effet de l'amendement organique sur l'efficacité des engrais phosphatés et potassiques dans l'élaboration du rendement du maïs (*ZeamaysL.*), Mémoire d'Ingénieur Agronome, UB-ESA, Lomé, Togo, 46 p.
- Keren R., 1990. Effect of soil conditioners and gypsum application on rain infiltration and erosion. *J. soil Sci* 149:301-307.
- Kouyate S., Haidara C.M., 2003. Etude sur la problématique des périmètres irrigués villageois au nord du Mali, pp 63.
- Kramer P.J., 1969. Plant and soil water relationships: A modern synthesis ,M C Graw-hill, book company, Nex York, 482P.
- Kuper.M, Zairi.A., 2007. Analyse Technique de la pratique de l'irrigation sur quelques exploitations de la Méridja ouest 4-7 juin 2007, 11p.
- Lavigne D., 1996. Gérer la fertilité des terres dans les pays du sahel. Diagnostic et conseil aux paysans. Collection « le point sur », 397 p.
- LCA, 2008. Guide pratique: comprendre et utiliser les analyses agro-environnementales
- Le Bissonnais Y., Lecomité V., Berkhadra H., 2005. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interhill erosion. *CATENA*, 62, 111-124.
- Le bulletin mensuel d'information sur CountrySTAT Burkina Faso, Mai 2010.
- Le Coustumer, 2004. Sécheresse édaphique sur les périmètres irrigués de l'Afrique de l'Ouest : causes, conséquences et propositions de conservation/réhabilitation des sols. Etude et Gestion des Sols. AFESS –INRA Avenue de la pomme de Pin. BP 20619, Ardon, France.
- Legoupil J.C., Dancette P., Maiga I.M, Ndiaye K.M., 1999. Pour un développement durable de l'agriculture irriguée dans la zone soudano-sahélienne : synthèse des résultats du pôle régional de recherche sur les systèmes irrigués.
- Lozet J., Charles M., 1990. Dictionnaire de Science du Sol. Technique et Documentation Lavoisier.
- MAHRH., 2010. Stratégie Nationale de Développement de la riziculture. MAHRH. 27p.
- Mallouhi N., 19973. Interprétations des analyses du sol et principales caractéristiques de certaines substances organiques et du compost, Coopération Française, Programme d'Appui à la Formation Professionnelle des Agronomes. Faculté des Sciences Agronomiques, Université Nationale du Bénin, 20p.
- Marlet S., 2002. Hypothèses et Arguments, Page 1-1 (pp12).

- Mathieu P., 2001. Quelles institutions pour une gestion de l'eau équitable et durable ? Décentralisation et réformes du secteur irrigué dans les pays ACP. Document de travail n°11, SPED. Université catholique de Louvain, Belgique, 24 p.
- MCA., 2010. Etudes techniques d'aménagement de 2033ha du périmètre aménageable de Di.
- MEE/AMVS., 1999. Étude d'aménagement hydroagricole de la zone de DI (Sourou). Etude pédologique – Rapport de synthèse.
- Mingeau M., Robelin M., 1972. Le transfert de l'eau dans la plante : action particulière de la nutrition azotée, Ann. Agron., 23P.
- Miwendé S., Sanou M., 2008. Etudes Diagnostic de la plaine aménagée de Moutori-Plan développement des Capacités Producteurs, janvier 2008.
- Morre D.C., Singer M.J., 1990. Crusts formation effect on soil erosion processes. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 54:1117-1123.
- Ndiaye M.K., Marlet S, Dicko M., 2002. Maîtrise de l'Irrigation et du Drainage en riziculture irriguée et désalinisation des sols à l'Office du Niger (Mali) : Modèle, Hypothèses et Argument, Page 1-12.
- ORSTOM., 1976. Monographies hydrologiques du bassin du fleuve Volta. Programme d'Action National d'Adaptation à la Variabilité et aux Changements Climatiques du Burkina Faso, novembre 2007, pp 84 et pp 76.
- Ouedraogo S., 1993. Analyse économique de l'allocation des facteurs de production dans les exploitations rizicoles de la Vallée du Kou. CNRST/INERA. Ouagadougou, Burkina Faso. 61p.
- Ouedraogo M., 2003. Les nouveaux acteurs et la promotion des activités agro-sylvo-pastorales dans le sud du Burkina Faso : Faux départ ou inexpérience ? Issue Paper. Londres : IIED.
- Paillard S., Treyer S., Dorin B., 2010. *Agrimonde. Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050*. Versailles : éditions Quae.
- Perennes J., 1998. L'eau et les hommes au Maghreb: Contribution à une politique de l'eau en Méditerranée, Éditions KARTHALA, 1993. A. Petruccioli, Il giardino .
- Peterson H.G., 1999. Water quality Fact Sheet: Irrigation and Salinity, Agriculture et Agro alimentaire, Canada.

- Piéri C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherches et de développement au sud du Sahara. Ministère de la coopération française et CIRAD/IRAT Montpellier, 444p.
- Poussin J.C., Boivin. P., 2002 Hammeck C. et Maeght J.C., 2005. Performances des systèmes rizières irrigués sahéliens. Cahier Agriculture 11 : 65-73P.
- Projet Management de l'irrigation- Burkina Faso (PMI-BF)/Institut International du Management de l'Irrigation (IIMI)., 1996. Méthodologie d'évaluation des performances et de diagnostic des systèmes irrigués, novembre 1996, 118 p.
- Richard D., 1994. Qualité de l'eau d'irrigation. Agri-vision 2003. MAPAQ St-Rémi 10p.
- Rodier J., 1984. L'analyse de l'eau, chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie. Edition 7 Dunod.
- Rosegrant M.W., Cline S.A., 2003. Global food security : challenges and policies Science 302p.
- Salducci X., 2011. Diagnostic de la fertilité biologique des sols et gestion de la MO : Concepts –méthodes applications. San Finna, 252p.
- Sargardoy J.A., 1987. Organisation des exploitations et entretien des périmètres d'irrigation ; Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N°40, Rome 1987.
- Secrétariat de l'IPTIRD –FAO – Rome., 2004, Identification et diffusion de bonnes pratiques sur les périmètres irrigués de l'Afrique de l'Ouest, pp 58.
- Sedogo M P., 1981. Contribution à la valorisation des résidus culturels en sols ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. (Matière organique du sol et nutrition. azotée des cultures). Thèse Docteur- Ingénieur, INPL Nancy, France, 195p.
- Sedogo M. P., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse d'Etat, FAST/ Université nationale de Côte d'Ivoire. 345p.
- Sedogo M.P., Lompo F. et Ouattara B., 1994. Le carbone et l'azote dans différentes fractions
- Segda Z., 2006. Gestion de la fertilité du sol pour une production améliorée et durable du riz (*Oriza sativa* L.) au Burkina Faso. Cas de la plaine irriguée de Bagré. Thèse présentée à l'UFR/ SVT. Thèse doctorat UO. BF. 202p+ publications.
- Sher, 2000. Étude d'aménagement hydroagricole de la zone de Di (Sourou) – Étude diagnostique des périmètres existants: Étude d'impact environnemental. Société pour

l'Hydraulique et l'Équipement Rural, Ministère de l'Environnement et de l'Eau, Autorité de Mise en Valeur de la Vallée du Sourou.

Siri A., 2012. Détermination de la capacité nutritive des sols en riziculture irriguée dans les périmètres de la vallée du Sourou : approche par les essais soustractifs, et utilisation du modèle QUEFTS-WS pour la formulation des options de fertilisations, 79P.

Sonou M, Abric S., 2000. Capitalisation d'expériences sur le développement de la petite irrigation privée pour des productions à haute valeur ajoutée en Afrique de l'Ouest.

Steiner J., 1996. Sociocultural approaches to learning and development: A Vygotskian framework. *Educational Psychologist*, 31 (3/4), 191-206.

Stengel P., Bruckler L., Balesdent J., 2009. Le Sol, Dossier INRA, Éditions Quae, Paris, 183p.

Szabolc J., 1989. Elaboration d'un logiciel de géochimie appliquée à l'étude de la qualité des eaux. Colloque « Altération et restauration de la qualité des eaux continentales ». Ports leucate, 1er et 2oct, p.27-30.

Tel D.A., 1981. Manuel sur l'analyse des sols et végétaux, département des Sciences et des Ressources Naturelles, Université de Guelph, Guelph Canada, pp 111-170.

Topka Y., 1996. Rentabilité et facteurs de blocage de la production rizicole au Togo : cas du périmètre irrigué d'AGOME GLOZOU (LACS-ET).

Traoré K., Toé M. A., 2008. Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au Burkina Faso, Ouagadougou, 99p.

Turrall H., Svendsen M., Faures J.M., 2010. Investing in agriculture : reviewing the past and looking to the future. *Agr Water Manage* 97 : 551-60.

Umali D.L., 1993. Irrigation-induced salinity : a growing problem for development and the environment. *World Bank Techn Paper* 215. Washington (DC) : World Bank.

Valet S., Leoustumer P.h., 2004. Sécheresse édaphique sur les périmètres irrigués de l'Afrique de l'Ouest : causes, conséquences et propositions de conservation /réhabilitation des sols. *Etude et Gestion des Sols*. AFESS –INRA Avenue de la pomme de Pin. BP 20619, Ardon, France.

Van der pol F., 1994. Quelques réflexions sur la dynamique des systèmes de production. Communication présentée à l'atelier-bilan sur la recherche-développement dans le Borgou : acquis et perspectives, 12-16 décembre 1994, Parakou, Bénin.

- Vandersypen K., Bastiaens L., Traoré A., Raes D., Jamin J.Y., Diakon B., 2006. Farmers' motivation for collective action in irrigation : a statistical approach applied to the Office of Niger and Mali. *Irrigation and Drainage* 57: 139-50.
- Wopereis M., 2002. Improving farming livelihoods in sub-saharan Africa: the case of the integrated soil fertility management In: IFDC, Proc of the ISFM training, 7-12 October, Lomé, IFDC Division Afrique, 25p.
- Wopereis. M.C.S., Donovan. C., Nebie. B., Guindo. D., et N'Diaye. M.K., 1999. Soil fertility management in irrigated rice systems in Sahel and Savanna Regions of West Africa Part I. Agronomic analysis. *Field Crops Res.*, 61:125-145.
- Yaméogo P.L., 2009. Contribution des granules d'urée dans l'amélioration de l'efficacité agronomique de l'azote en riziculture irriguée : cas de la vallée du kou au Burkina faso, Mémoire UPB. 60 p.
- Yaro G.J., 1995. Formes de rizicultures et différenciation socio-économiques dans la vallée du Sourou au Burkina faso, ORSTOM/AMVS, 10p.
- Yili T.H., 2005. Monographie de la Commune Rurale de Dano, avril 2006, pp 62.
- Yoshida S., 1981. Fundamentals of rice crop science IRRI. Los Banos, (Phillipines), 113-115p
- ZAhry M., M. Rachid, 2002. Impact de la formation des AUEA sur l'économie de l'eau et la mise en valeur agricole, *Revue Homme-Terre et Eau*, n° 124, septembre-décembre, p. 47-52.
- Zida M., 2005. Diagnostic de l'état de fertilité des sols sur les sites de petite irrigation villageoise : cas des périmètres villageois de Diarradougou et Badara. Mémoire de fin d'étude, diplôme d'ingénieur, option agronomie. Université de Bobo Dioulasso/ IDR. 88p.
- Zoungrana I., 1991. Recherche sur les aires pâturées du Burkina Faso. Thèse Doctorat d'Etat. Université Bordeaux II: 320 p.
- Zoungrana T.P., Bethemont J., Faggi P., 2005. De l'échec d'un projet à l'émergence d'un territoire : La vallée du Sourou (Burkina Faso), Colloque d'Agadir, 12-15 décembre 2005, 17P

Annexes

Annexe 1

Tableau 5: Tableau synoptique des contraintes du bloc A

composantes	indicateurs	Appréciation de l'état actuel	recommandations
Chenal d'amenée	Etat physique	Berges dégradées, colonisation végétale, ensablement	Stabiliser les par des perrés maçonnés, coupe des arbres et curage
Station de pompage	Etat de fonctionnement	Absence de carnet d'entretien et de manuel d'entretien des équipements, absence des pièces rechanges, pannes répétitives, La vis est dépourvue de toute protection, , local encombré avec une toiture dégradée	Remplacement du moteur diesel par un moteur électrique et réhabilitation du local
Canal primaire	Etat physique	Présente de nombreuses fissures et joints bitumeux détériorés, ensablement, perte d'eau	réhabiliter
Secondaire 1et 2	Etat physique	Fissures, présence des termitières sur le bord, dégradations des cavaliers, ensablement, Décrochage des panneaux,	Destruction des termitières, ré profilage des canaux, entretiens périodique et cessation des prélèvements abusives d'eau pour d'autres activités qu'agricole

		prélèvement d'eau par siphon et pour d'autres activités	
Module à masque	Etat physique	De mauvaise qualité, perte des pièces, mauvais calage parfois.	Remplacement des modules existants par ceux de bonne qualité et bien les caler et entretenir
Canaux tertiaires	Etat physique	En terre, Enherbés, des sections variables	Remise état et entretiens réguliers
Arroseurs	Etat physique	En terre et sont enherbés, absence des vannettes de prise	désherbage et entretiens réguliers, remise en état des vannettes
Drain principal, secondaire et tertiaires	Etat physique	écoulement perturbé à cause des herbes, manque d'entretien	Entretien courant
la digue de protection	Etat physique	Poussée d'arbres et dégradation de talus, réduction de la largeur en crête	Remise en état des talus et de la Largeur en crête, couper les arbres
Ouvrages de franchissement et déversoirs de décharges	Etat physique	Dépôts solides dans les puisards du siphon inversé et déversoirs	Le curage de ces ouvrages doit être entrepris d'une manière préventive au démarrage de la campagne et d'une manière curative chaque fois que l'écoulement d'eau se trouve perturbé.
Pistes	Etat physique	Présences des ornières, nid de poule et d'eau stagnante	Réprofilage des pistes et entretien régulier

Tableau 6 : Tableau synoptique des contraintes du bloc B

composantes	indicateurs	Appréciation de l'état actuel	Conclusion et recommandations
Chenal d'amenée	Etat physique	Berges dégradées, colonisation végétale, envasement	Stabiliser les par des perrés maçonnés, coupe des arbres et curage
Station de pompage	Etat physique	Mal entretenu, vis sans protection, suivi de fonctionnement non assuré	Protection de la vis, élaboration d'un carnet de fonctionnement de la station, mise en place de batardeau pour isoler la station, assurer l'entretien régulier
Canal primaire	Etat physique	Revêtu avec des nombreuses fissures et de joints bitumeux détériorés entraînant des pertes d'eau, ensablement,	Réhabiliter
Secondaire de 1et 5	Etat physique	Tous revêtus, présentent des fissures et de décrochages des panneaux .Présence des termitières sur le bord du CSB2, dégradations des cavaliers, ensablement, , prélèvement d'eau par siphon et pour d'autres activités	Destruction des termitières, ré profilage des canaux, entretiens périodique et cessation des prélèvements abusives d'eau pour d'autres activités qu'agricole
Module à masque	Etat physique	De mauvaise qualité, perte des pièces, mauvais calage parfois.	Remplacement des modules existants par ceux de bonne qualité et bien les caler et entretenir
Canaux tertiaires	Etat physique	En terre, Enherbés, des sections variables	Remise état et entretiens réguliers

Arroseurs	Etat physique	En terre et sont enherbés, absence des vannettes de prise	désherbage et entretiens réguliers, remise en état des vannettes
Drain principal, secondaire et tertiaires	Etat physique	Colatures bouchées, difficultés d'évacuation des eaux et leur stagnation provoquant de débordements sur des pistes	Curage et faucardage des fossés
la digue de protection	Etat physique	Poussée d'arbres et dégradation de talus par endroit, réduction de la largeur en crête	Remise en état des talus et de la Largeur en crête, couper les arbres
Ouvrages de franchissement et déversoirs de décharges	Etat physique	Dépôts solides dans les puisards du siphon inversé et déversoirs	Le curage de ces ouvrages doit être entrepris d'une manière préventive au démarrage de la campagne et d'une manière curative chaque fois que l'écoulement d'eau se trouve perturbé.
Pistes	Etat physique	Présences des ornières, nid de poule et d'eau stagnante	Réprofilage des pistes et entretien régulier

Tableau 7 : Tableau synoptique des contraintes du bloc C

composantes	indicateurs	Appréciation de l'état actuel	Conclusion et recommandations
Chenal d'amenée	Etat physique	Berges dégradées, colonisation végétale, envasement	Stabiliser les par des perrés maçonnés, coupe des arbres et curage
Station de pompage	Etat physique	Mal entretenu, vis sans protection, suivi de fonctionnement non assuré, panne régulière, local délabré	Protection de la vis, élaboration d'un carnet de fonctionnement de la station, mise en place de batardeau pour isoler la station, assurer l'entretien régulier, réfection du local
Canal primaire	Etat physique	Présente de nombreuses fissures et joints bitumeux détériorés, ensablement, perte d'eau	Réhabiliter
Secondaire 1et 2	Etat physique	Fissures, présence des termitières sur le bord, dégradations des cavaliers, ensablement, Décrochage des panneaux, prélèvement d'eau par siphon et pour d'autres activités	Destruction des termitières, ré profilage des canaux, entretiens périodique et cessation des prélèvements abusives d'eau pour d'autres activités qu'agricole
Module à masque	Etat physique	De mauvaise qualité, perte des pièces, mauvais calage parfois.	Remplacement des modules existants par ceux de bonne qualité et bien les caler et entretenir

Canaux tertiaires	Etat physique	En terre, Enherbés, des sections variables	Remise état et entretiens réguliers
Arroseurs	Etat physique	En terre et sont enherbés, absence des vannettes de prise	désherbage et entretiens réguliers, remise en état des vannettes
Drain principal, secondaire et tertiaires	Etat physique	écoulement perturbé à cause des herbes, manque d'entretien	Entretien courant
la digue de protection	Etat physique	Poussée d'arbres et dégradation de talus, réduction de la largeur en crête	Remise en état des talus et de la Largeur en crête, couper les arbres
Ouvrages de franchissement et déversoirs de décharges	Etat physique	Dépôts solides dans les puisards du siphon inversé et déversoirs	Le curage de ces ouvrages doit être entrepris d'une manière préventive au démarrage de la campagne et d'une manière curative chaque fois que l'écoulement d'eau se trouve perturbé.
Pistes	Etat physique	Présences des ornières, nid de poule et d'eau stagnante	Réprofilage des pistes et entretien régulier

ANNEXE 2 : MÉTHODES D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES Des Sols

Éléments	Méthodes utilisées	Description de la méthode
Carbone (matière organique)	Walkley – Black	Oxydation de l'échantillon par le bichromate de potassium en milieu sulfurique L'excès du bichromate est mesuré au spectrophotomètre à 650 mm.
Azote total et phosphore total	Minéralisation avec l'acide sulfurique-sélénium-salicylique	Minéralisation de l'échantillon (plantes ou sols) avec un mélange d'acide sulfurique sélénium salicylique en le chauffant progressivement (100, 250 et 340°C) jusqu'à minéralisation totale. Détermination de l'azote total dans le minerais à l'auto-analyseur en utilisant le nessler comme indicateur et le phosphore total en utilisant le molybdate d'ammonium.
Potassium total (k)	Même méthode que le N ^{tot} .P ^{tot} .	Même méthode que le N.P. sauf que le potassium est déterminé à l'aide de photomètre à flamme.
pH eau et KCl	Suspension à 1 :5	Suspension de l'échantillon avec de l'eau distillée (pH eau) ou avec une solution de KCl 1N (pH kCl) dans un rapport 1 :5 puis le mesurer sur un pH-mètre.
Phosphore assimilable		Extraction avec une solution mixte de chlorure d'ammonium et d'acide chlorhydrique. Passage de l'extrait au spectrophotomètre à 720 mm en utilisant le molybdate d'ammonium.
Potentiel capillaire pF		Saturer l'échantillon avec de l'eau pendant 72 heures au plus Soumission de l'échantillon à une pression déterminée (15; 1; 0,3 bars) L'eau en excès est éliminée jusqu'à l'établissement d'un équilibre entre la pression et la force de rétention de l'eau par le sol on détermine la teneur en eau de l'échantillon à l'étude à 105°C.

Granulométrie	Par hydrométrie argile, limon, sable	Agitation du poids déterminé de l'échantillon avec une solution d'hexaméthaphosphate de sodium (dispersant) pendant 2 heures Agiter la suspension à la main pendant une minute Mesurer la densité après 40 secondes ou 3 heures à l'aide d'un hydromètre spécial calibré à 20°C.
Éléments disponibles	Potassium disponible	Une quantité déterminée de l'échantillon est agitée avec une solution mixte de l'acide chlorhydrique HCl 0.1N et l'acide oxalique $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$. L'échantillon est aussitôt filtré, le potassium est mesuré au photomètre à flamme.
Conductivité électrique	Suspension à 1:5	L'ion H^+ et HI^{3+} sont déplacés par une solution normale d'acétate d'ammonium ou de chlorure de potassium 1N.

Tableau 2b : Normes d'interprétation du BUNASOL ,1990

Classe (interprétation)		Très bas	Bas	Moyen	Elevé	Très élevé
		Défavorable ← Favorable →				
		Favorable				
Matière organique	%	< 0,5	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0	2,0 – 3,0	> 3,0
	Cotation	1	2	3	4	5
Azote(N) total	%	< 0,02	0,02 – 0,06	0,06 – 0,10	0,10 – 0,14	> 0,14
	Cotation	2	2,5	3	3,5	4
Phosphore (P)	ppm	< 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30	> 30
	Cotation	2	2,5	3	3,5	4
Phosphore (P) total	ppm	< 100	100 - 200	200 - 400	400 - 600	> 600
	Cotation	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5
Potassium (K)	ppm	< 25	25 - 50	50 - 100	100 - 200	> 200
	Cotation	2	2,5	3	3,5	4
Potassium (K) total	ppm	< 500	500 - 1000	1000 - 2000	2000 - 4000	> 4000
	Cotation	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5
CEC (T)	meq/100g	< 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	> 20
	Cotation	2	2,5	3	3,5	4
Somme des bases	meq/100g	< 1	1 - 6	6 - 11	11 - 16	> 16
	Cotation	1	2	3	4	5
Saturation en Bases	%	< 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	> 80
	Cotation	2	2,5	3	3,5	4
PHeau	Valeur	> 9,0	8,5 – 9,0	7,9 – 8,4	7,4 – 7,8	6,1 – 7,3
	Cotation	1	2	3	4	5
Réserve en eau Utile	Valeur	< 3	3 - 5	5 - 10	10 - 15	>15
	Cotation	1	2	3	4	5

Annexe 3 : Compte d'exploitation d'un quart (1/4) hectare de riz: Périmètre de Gouran

DRABO Adama (AMVS, 2013)			PPU	PP
Désignation	Quantité	Coût unitaire/ha	Montants	
Labour (Pulvérisage)	10	32000	8000	8000
Mise en boue		20000	5000	5000
Semence		500	5000	5000
Repiquage		20000	5000	5000
Eau irrigation (redevance)		160000	25000	25000
Engrais NPK		80000	17500	17500
Engrais Urée		80000	18000	18000
Granulation	1		1100	0
Application USG		24000	6000	0
Fumure organique		80000	20 000	20 000
Herbicide		0	0	3000
Désherbage		24000	12000	18000
Gardiennage		10000	10000	10000
Fauchage		24000	6000	6000
Ramassage et mise en meule		8000	2 000	2 000
Battage		28000	7 000	7 000
Vannage		2000	2000	2000
Sacs vides et ensachage		0	14500	13500
Transport			5000	5000
Total Charges			169100	170000
Produit			271 250	245000
Marge brute			102 150	75000

Annexe 4:

Tableau 8 : Résultat des enquêtes statistiques descriptives

	Popul ation	Ecart Max-Min	Mini mum	Maxi mum	Moye nne	Déviation Standard	
	Stat	Stat	Stat	Stat	Stat	Std, Erreur	Statistique
Ages des producteurs	36	31	25	56	41,83	1,472	8,71
Nombre d'actif	36	6	1	7	3,34	0,249	1,47
expérience en riziculture	36	32	3	35	16,6	1,429	8,45
Superficie de l'exploitation	36	2	0	2	0,96	0,068	0,40
Age parcelle	36	21	5	26	14,6	1,224	7,24
nombre de hersage	36	0	2	2	2	0	0
âge des plantules au repiquage saison sèche	36	1	4	5	4,89	0,055	0,32
âge des plantules au repiquage saison humide	36	1	3	4	3,77	0,072	0,43
nombre de brin au repiquage saison sèche	36	3	1	4	2,86	0,102	0,6
nombre de brin au repiquage en saison humide	36	3	1	4	2,86	0,102	0,6
dose de NPK appliquée	36	0	200	200	200	0	0
dose d'urée	36	0	200	200	200	0	0
dose de la matière organique	36	7999	1	8000	2092	410	2424,2
gestion de l'eau d'irrigation	36	2	3	5	4,89	0,08	0,5
rendement paddy en saison sèche	36	3900	2652	6552	4773	138,3 9	818,7
rendement paddy saison humide	36	3588	2340	5928	4143	155,6 9	921,1
prix coopérative (FCFA)	36	50	125	175	157	2,828	16,7

Annexe 5

Résultats des transcriptions des profils pédologiques :

N° du Profil : P1

Unité cartographique : 7

Date de description :

1°) Classification du sol

CPCS (1967) : Sol ferrugineux tropical lessivé à tâches et à concrétions

WRB : Lixisol gleyique

Coordonnées :

Latitude: 1438338N

Longitude: 0453432E

2°) Environnement du profil

Localisation : Gouran

Végétation et /ou utilisation : champ de maïs

Position topographique :

Topographie environnante : faiblement ondulée

Pente : 0-1%

Matériau parental : alluvion

Etat hydrique : frais

Drainage : imparfait

Nappe : atteinte

Cailloux et affleurements rocheux :

Erosion : nappe

Influence humaine : labour

3°) Description morphologique du profil

0-20 cm : brun foncé (10 YR 4/3) à l'état humide ; texture argile limoneuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments grossiers et moyens ; consistance friable ; peu nombreux pores très fins et fins ; racines assez nombreuses très fines et fines ; transitions distincte.

20-54cm : brun grisâtre foncé (10 YR 4/4) à l'état humide ; texture argileuse; 5% de graviers ferrugineux ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments moyens et grossiers ; consistance friable ; peu nombreux pores; racines assez peu nombreuses très fines et fines ; transitions distincte.

54-70cm : brun jaunâtre foncé (10 YR 6/4) l'état humide ; taches gris brunâtre claire (10 YR 6/2) à l'état humide ; texture argileuse ; 15% de graviers ferrugineux ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments moyens et fins ; consistance friable ; racines non évidentes.

>70cm : nappe d'eau.

N° du Profil : P2

Date de description : 04/02/13

1°) Classification du sol

CPCS (1967) : Sol hydromorphe peu humifère à pseudogley de surface

WRB :

Coordonnées :

Latitude: 1438389N

Longitude : 0452406E

2°) Environnement du profil

Localisation : Gouran

Végétation et /ou utilisation : champ d'oignon

Position topographique : plaine

Topographie environnante : quasi-plate

Pente : 0-1 %

Matériau parental : alluvion

Etat hydrique : frais

Drainage : imparfait

Nappe : atteinte

Cailloux et affleurements rocheux :

Erosion : en nappe

Influence humaine : labour

3°) Description morphologique du profil

0-27cm : brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2) à l'état humide ; texture argile limoneuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments grossiers et moyens ; consistance friable ; pores peu nombreux très fins et fins ; racines assez nombreuses très fines et fines ; activité biologique bien développée ; transition distincte.

27-60cm : brun (10 YR 5/3) à l'état humide ; 5% de taches gris brunâtre claire (10 YR 6/2) à l'état humide ; texture argileuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée

en éléments fins et moyens ; consistance friable ; racines peu nombreuses très fines et fines ; activité biologique bien développée ; transition distincte.

60-78cm : brun grisâtre foncé (10 YR 4/4) à l'état humide ; 15 % de taches gris brunâtre claire (10 YR 6/2) à l'état humide ; texture argileuse; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments moyens et grossiers ; consistance ferme ; pores peu nombreux très fins et fins; racines peu nombreuses très fines et fines ; activité biologique peu développée.

>78cm : nappe d'eau.

N° du Profil : P3

Date de description : 04/02/2013

Unité cartographique : 12

Auteurs : Epolyste et Bado

1°) Classification du sol

CPCS (1967) : Bruns eutrophes tropicaux hydromorphes

WRB :

Coordonnées :

Latitude : 1439691N

Longitude : 0451990E

2°) Environnement du profil

Localisation : Gouran

Végétation : Champ de riz

Position topographique : plaine

Topographie environnante : alluvion

Pente :

Matériau parental : alluvion

Etat hydrique : frais

Drainage : imparfait

Nappe : atteinte

Cailloux et affleurements rocheux :

Erosion : en nappe

Influence humaine : labour

3°) Description morphologique du profil

0-32cm : brun grisâtre foncé (2,5Y 4/2) à l'état humide ; texture argile limoneuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments grossiers et moyens ;

consistance ferme ; pores peu nombreux très fins et fins ; racines nombreuses très fines et fines ; activité biologique bien développée ; transition distincte.

32-55cm : brun olive clair (2,5Y 5/3) à l'état humide ; texture argileuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments moyens et fins ; consistance ferme ; pores peu nombreux très fins et fins ; racines peu nombreuses très fines et fines ; activité biologique bien développée ; transition distincte.

55-72cm : brun olive (2,5Y 5/4) à l'état humide ; texture argileuse ; de nodules calcaire ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments moyens et fins ; consistance ferme ; pores peu nombreux très fins et fins ; racines peu nombreuses très fines et fines ; activité biologique bien développée ; transition distincte.

>72cm : nappe d'eau.

Notes additionnelles : face de pression ; présence de nodule calcaire.

N° du Profil : P4

Date de description :

Unité cartographique :

1°) Classification du sol.

CPCS (1967) : Sol brun eutrophe tropical hydromorphe vertique

Coordonnées :

Latitude : 1439691N

Longitude : 0451990E

2°) Environnement du profil

Localisation : Gouran

Végétation : Champ d'oignon

Position topographique : plaine

Topographie environnante : quasi plat

Pente : 0-1%

Matériau parental : alluvion

Etat hydrique : frais

Drainage : imparfait

Nappe : atteinte

Cailloux et affleurements rocheux :

Erosion : en nappe

Influence humaine : labour

3°) Description morphologique du profil :

0-20cm : brun grisâtre foncé (2,5Y 5/2) à l'état humide ; texture argile limoneuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments grossiers et moyens ; consistance friable; pores peu nombreux très fins et fins ; racines peu nombreuses très fines et fines ; activité biologique bien développée ; transition distincte.

20-43cm : brun olive claire (2,5Y 5/4) à l'état humide ; texture argile limoneuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments moyens et gros; consistance friable ; pores peu nombreux très fins et fins ; activité biologique bien développée ; transition distincte.

43-70cm : brun olive clair (2,5Y 5/3) à l'état humide ; texture argileuse ; des taches jaune olive claire (2,5Y 6/6) ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments moyens et fins ; consistance ferme ; pores peu nombreux très fins et fins ; racines peu nombreuses très fines et fines ; activité biologique bien développée ; transition distincte.

70-87cm : brun jaunâtre clair (2,5Y 6/4) à l'état humide ; texture argileuse ; des taches jaune olive (2,5Y 6/8) ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments moyens et grossiers ; consistance ferme ; pores peu nombreux très fins et fins ; racines peu nombreuses très fines et fines ; activité biologique peu développée.

>87cm : nappe d'eau.

N° du Profil : P5

Unité cartographique ; 6

Date de description : 04/02/2013

1°) Classification du sol

CPCS (1967) : Vertisol vertique

WRB : Cambisol vertique

Coordonnées :

Latitude : 1451545E

Longitude : 1441045N

2°) Environnement du profil

Localisation : debe

Végétation : rizière

Position topographique : plaine

Topographie environnante : quasi plat

Pente : 0-1%

Matériau parental :

Etat hydrique : frais

Drainage : imparfait

Nappe : atteinte

Cailloux et affleurements rocheux :

Erosion : en nappe

Influence humaine : labour

3°) Description morphologique du profil

0-15cm : brun grisâtre foncé (2,5Y 4/2) à l'état humide ; texture argileuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments grossiers et moyens ; consistance ferme ; pores peu nombreux très fins et fins ; activité biologique peu développée ; transition distincte.

15-30cm : brun olive clair (2,5Y 5/3) à l'état humide ; texture argileuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments grossiers et moyens ; consistance ferme ; pores peu nombreux très fins et fins ; activité biologique bien développée ; transition distincte.

>70cm : nappe d'eau

Notes additionnelles : larges fentes de retrait en surface ; présence de nodule calcaire dans le 1^{er} et 2^e horizon.

N° du Profil : P6

Date de description :

Unité cartographique :

1°) Classification du sol

CPCS (1967) : Sol brun eutrophe tropical ferruginisé

WRB (2006) : Cambisol eutrique

2°) Environnement du profil

Localisation : Gouran

Végétation : champ d'oignon sous savane à *Acacia seyal*, *Ziziphus m. Piliostigma*.

Position topographique : plaine

Topographie environnante : quasi plate

Pente : 0-1%

Matériau parental : alluvions

Etat hydrique : frais

Drainage : normal

Nappe : non atteinte

Cailloux et affleurements rocheux :

Erosion : en nappe

Influence humaine : labour

3°) Description morphologique du profil

0-20 cm : brun (10YR5/3) à l'état sec et brun (10YR4/3) à l'état humide ; texture argile limoneuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments c et moyens ; consistance friable ; pores peu nombreux très fins et fins ; racines peu nombreuses fines, très fines et moyens activité biologique bien développé; transitions distincte.

20-44cm : brun jaunâtre (10YR5/4) à l'état sec et brun jaunâtre (10YR5/4) à l'état humide ; texture argile limoneuse ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments grossiers et moyens; consistance friable ; pores peu nombreux fins très fins et moyens ; racines peu nombreuses très fines et fines ; activité biologique bien développée ; transition distincte.

44-72cm : brun jaunâtre foncé (10 YR 4/6) à l'état humide ; texture argileuse; 5% de graviers ferrugineux ; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments moyens et grossiers ; consistance friable ; pores peu nombreux très fins et fins; racines rares, très fines et fines ; activité biologique bien développée.

72-107cm : brun jaunâtre (10 YR 5/8) à l'état humide ; texture argileuse ; 15% de graviers ferrugineux; structure polyédrique subangulaire faiblement développée en éléments moyens et fins ; consistance friable ; pores peu nombreux, fins très fins et moyens; racines non évidentes; activité biologique peu développée.

Annexe 6 : Fiche d'enquête pour la caractérisation des modes de gestion de la fertilité des sols en riziculture irriguée dans le périmètre de Gouran

Enquêteur :...../

Date de l'enquête...../

Lieu de l'enquête...../

Nom et Prénom du Producteur :...../

Coopérative
agricole...../

Date d'installation :...../

Age...../Niveau de
scolarisation...../sexe :...../

Situation
matrimoniale...../

Nombre d'actif agricole de l'exploitation...../

Expérience en riziculture (année)...../

Age du périmètre...../précédant
cultural...../

Type de sol :.....

Niveau d'infiltration du sol : Sol filtrant...../ Sol non filtrant...../

Surface emblavée en riz : en SS..... en
SH :.....

Variété de SS : variété de
SH :.....

Utilisez-vous de la semence améliorée ?...../

Autres spéculations : Surface occupé par autres
spéculations.....

Période de mise ne place des autres
spéculations :.....

Mode de gestion de l'eau (durée du cycle
d'irrigation) :...../

Date de mise en pépinière : SSdate de la pépinière en
SH.....

Date de repique en SH :.....Date de repique en SH :.....

Age des plants au repiquage en SS :âge des plants au repique en SH.....

Nombre de brin au repique SS :.....nombre de brin au repique SH :.....

Type(s) de fertilisant utilisé :

- Organique :.....
...../
- Inorganique :.....
...../
- Formule de NPK utilisée :
.....
.....

Consommation moyen de fertilisant : (kg ha⁻¹ pour chaque type)

- Organique :.....
.....
.....
.....
- Inorganique :.....
.....
.....
.....

Mode d'utilisation des fertilisants : (enfoui ? profondeur d'enfouissement ?)

- Organique :.....
.....
.....
.....
- Inorganique :.....
.....
.....
.....

Mode de gestion des résidus de récoltes : (Brulé ? enfoui ? proportion brulé ; proportion enfouie ?).....

...../

Rendement moyen du producteur en pratique paysanne :(en SS, en SH ;)

.....

.....

.....

Coût des opérations agricoles en francs CFA/ha

Coût du labour...../coût de la Mise en Bout.....

Coût du repiquage...../coût du désherbage.....

Coût d'épandage d'engrais...../coût d'enfouissement de l'urée granulée.....

Coût de la récolte...../cout du battage : manuel...../mécanique.....

Redevance d'eau francs

CFA/ha...../

Utilisation de paddy...../

Si vente lieu de vente :.....

Prix du kg de paddy en SS..... en SH.....

Part a autoconsommée :en SS
.....en SH.....

Perception des producteurs sur l'utilisation des engrais en production rizicole :

.....

.....

.....

.....

.....

Perception de l'exploitant sur l'état de la fertilité de l'exploitation :.....

.....

.....
.....
Comment percevez-vous cet état de la
fertilité ?.....:

.....

.....
.....
Contraintes et potentialités de la production du riz particulièrement en relation avec les sols et
les engrais dans la plaine du Sourou :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
Rendement paddy en campagne sèche.....

.....
.....
Rendement paddy en campagne
humide.....

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

Annexe 7 : Les profils pédologiques

P6 (BEF)



P5 (V V)



P4 (BEHV)



P3 (HPHS)

