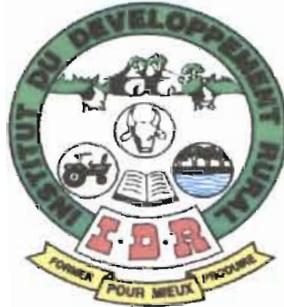


**BURKINA FASO**  
**Unité-Progrès-Justice**

**MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET SUPERIEUR**

**UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO**

**INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL**



**Mémoire de DEA en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles (GIRN)**

**Option : Systèmes de Production Végétale**

**Spécialité : Science du sol**

**THEME :**

**Co-construction de systèmes d'Agriculture de Conservation adaptés au contexte agro-écologique de la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso.**

**Présenté par: Yacouba OUEDRAOGO**

**Maîtres de stage :** Dr Nadine ANDRIEU, Agronome Modélisatrice, CIRAD ; Dr Kalifa COULIBALY, Assistant, IDR/UPB

**Directeur de mémoire :** Pr Hassan Bismarck NACRO, Maître de conférences, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

**Président du jury :** Pr Irenée SOMDA, Professeur titulaire, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

**Membres :**

Dr Kalifa COULIBALY, Assistant, IDR/UPB

Dr Patrice DJAMEN, African Conservation Tillage Network (ACT)

**Mai 2015**

N° ...../science du sol

## **DEDICACE**

Je dédie ce mémoire à :

- mon père Nakelguèba OUEDRAOGO, ma mère Kadijata SAWADOGO et ma tante Haoua SAWADOGO pour l'amour et l'éducation attentionnée qu'ils m'ont donné ;
- mon grand frère Hamado OUEDRAOGO, qu'il trouve ici, le fruit de sa constante préoccupation pour mes études.

## **TABLES DES MATIERES**

DEDICACE.....	i
TABLES DES MATIERES .....	ii
REMERCIEMENTS .....	v
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
RESUME.....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCTION.....	I
CHAPITRE 1 : SYSTEMES D'AGRICULTURE DE CONSERVATION EN ZONE SUBSAHARIENNE ET PROCESSUS DE CONCEPTION DE SYSTEMES D'AGRICULTURE INNOVANTS. ....	4
1.1. Systèmes d'agriculture de conservation et leurs performances en zone subsaharienne. ....	4
1.1.1. En Afrique de l'Est, du Sud et à Madagascar .....	4
1.1.2. En Afrique de l'Ouest et du centre.....	7
1.2. Méthodes de conception de système d'agriculture innovant.....	10
1.2.1 Expérimentation à la parcelle.....	10
1.2.2. Méthodes dites « participatives » .....	10
1.2.3. Utilisation de modèles .....	12
1.2.4. Développement de systèmes d'agriculture de conservation en zone subsaharienne .....	12
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES .....	13
2.1. Zone de l'étude.....	13
2.1.1. Caractéristiques des systèmes de productions.....	14

2.2. Méthodologie .....	17
2.2.1. Expérimentation en milieu paysan .....	17
2.2.1.1. Collecte des données d'expérimentation en milieu paysan.....	22
2.2.1.2. Analyse des données des expérimentations .....	23
2.2.2. Exploration des conditions d'insertion du système d'AC à l'échelle de l'exploitation .	27
2.2.2.1. Choix du modèle de simulation.....	27
2.2.2.2. Démarche d'utilisation du modèle <i>CikEda</i> avec les producteurs pour analyser les conditions d'insertion de l'AC à l'échelle de l'exploitation .....	29
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION .....	32
3.1. Résultats .....	32
3.1.1. Identification de la diversité de gestion du système d'AC .....	32
3.1.1.1. Interprétation des axes factoriels.....	32
3.1.1.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH) .....	36
3.1.1.3. Projection des individus sur les axes principaux et description des groupes de producteurs .....	36
3.1.1.3.1. Groupe 1 : Désherbage chimique des mauvaises herbes .....	37
3.1.1.3.2. Groupe 2 : Désherbage manuel avec une opération de désherbage .....	38
3.1.1.3.3. Groupe 3 : Désherbage manuel avec deux opérations de désherbage .....	38
3.1.2. Effets du système d'agriculture de conservation sur les performances techniques et agronomiques à l'échelle de la parcelle .....	39
3.1.2.1. Effets du système d'agriculture de conservation sur l'enherbement et l'humidité du sol .....	39
3.1.2.2. Effets du système d'agriculture de conservation sur le temps de travail et le rendement du maïs. ....	42
3.1.3. Effets de l'insertion de l'AC dans la sole en maïs à l'échelle des exploitations.....	45
3.1.3.1. Effet sur le bilan céréalier et le solde économique des exploitations.....	50
3.1.3.2. Effet sur le bilan fourrager et la charge de travail des exploitations.....	51
3.1.3.3. Effet sur le bilan minéral apparent des parcelles.....	54
3.1.4. Ajustements des systèmes de production proposés par les producteurs pour favoriser une insertion de l'AC .....	55
3.1.4.1. Effets des ajustements sur le bilan céréalier et le solde économique des exploitations .....	58

3.1.4.2. Effets des ajustements sur la charge de travail et le bilan fourrager des exploitations	60
3.2. Discussion	63
3.2.1. Performances agronomiques et techniques de l'AC à l'échelle de la parcelle	63
3.2.2. Implications de l'insertion de l'AC à l'échelle des exploitations	65
3.2.2.1. Implication sur le bilan céréalier et le solde économique	65
3.2.2.2. Implication sur la charge de travail et le bilan fourrager	67
3.2.2.3. Implication sur le bilan minéral apparent des parcelles	70
3.2.3. Expérimentation et simulation participative de scénarios d'insertion de système d'AC à l'échelle de l'exploitation : intérêt et limite de l'agriculture de conservation	70
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	72
BIBLIOGRAPHIE	74
WEBOGRAPHIE	83
ANNEXE	1

## REMERCIEMENTS

Le présent mémoire nous offre l'occasion en ces lignes qui suivent de témoigner de notre profonde gratitude à tous ceux qui se sont investis pour la réalisation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent particulièrement à :

- **Dr Valentine C. YAPI-GNAORE**, directeur de recherche et Directrice Générale du CIRDES ; structure au sein de laquelle nous avons effectué notre travail d'ingénieur et qui nous encore accueilli pour notre travail de DEA. En ces lignes, nous exprimons nos sincères remerciements à tout le personnel du CIRDES ;

- **Dr Augustin B. KANWE**, Chef de l'URPAN, unité au sein de laquelle nous avons conduit nos travaux, pour sa disponibilité et son investissement pour l'exécution de nos activités de terrain ;

- **Dr Nadine ANDRIEU**, Chercheur agronome au CIRAD, et notre maître de stage, pour la confiance réitérée en nous pour mener ce travail à la suite de notre projet d'ingénieur ; nous lui exprimons notre profonde reconnaissance pour son excellent suivi, sa riche expérience en modélisation et ses réflexions scientifiques partagées avec nous ;

- **Dr Kalifa COULIBALY**, Assistant à l'IDR/UPB, et notre co-encadreur de stage, pour sa constante disponibilité et le partage de sa riche expérience sur les expérimentations participatives en milieu paysan qui nous ont aidé à accomplir ce travail ;

- **Pr Hassan Bismarck NACRO**, notre Directeur de mémoire, pour la confiance qu'il a placée en nous en acceptant la tutelle scientifique de nos travaux ; aussi, qui malgré son absence au Burkina Faso, s'est toujours intéressé et préoccupé de l'évolution de nos travaux ;

- **Dr Mamadou TRAORE**, Enseignant-Chercheur à l'IDR/UPB, pour sa disponibilité et ses conseils ;

- **M. Innocent BAYALA**, technicien au CIRDES pour sa disponibilité à nos sollicitations tout le long de mon travail ;

- au **corps professoral de l'IDR**, pour l'incalculable contribution à notre formation académique. Au **Pr Adrien M.G. BELEM**, responsable de la formation doctorale de l'Université de Bobo-Dioulasso, et au **Pr Irénée SOMDA** qui dirigeait toujours l'IDR/UPB quand nous commençons nos travaux, nous tenons à leur exprimer nos sincères remerciements pour nous avoir permis de finaliser nos travaux après interruption pour une formation en Israël ;

- aux **étudiants stagiaires** du CIRDES, particulièrement à **Jethro DELMA**, **Medina KARAMBIRI**, **Généviève KERE**, **Mamadou TOURE**, **Ida BENAGABOU** et **Ibrahima SORO**, pour leurs soutiens et pour l'environnement amical propice au travail, qu'ils ont contribué à entretenir tout au long des moments passés ensemble, qu'ils trouvent ici ma sympathie.

- aux **producteurs** pour leur collaboration dans la mise en œuvre des expérimentations et pour le temps qu'ils nous ont accordé lors des entretiens.

## **SIGLES ET ABREVIATIONS**

**ABACO** : Agro-ecology Based Aggradation Conservation Agriculture

**AC** : Agriculture de Conservation

**ANOVA** : Analysis Of Variance

**CAH** : Classification Ascendante hiérarchique

**CCV** : Comité de Concertations Villageois

**CIRAD** : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

**CIRDES** : Centre International de Recherche Développement sur l'Elevage en zone Subhumide

**DEA** : Diplôme d'Etudes Approfondies

**ECPP** : Expérimentation chez et par les paysans

**FAO** : Food and agriculture organization

**FO** : Fumure Organique

**ICRAF** : Conseil International pour la Recherche en Agroforesterie

**IDR** : Institut du Développement Rural

**INERA** : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

**MAD** : Matière Azotée Digestible

**SCV** : Semis direct sur Couverture Végétale

**UF** : Unité Fourragère

**UPB** : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso

**URPAN** : Unité de Recherche sur les Productions Animales

**SRE** : Service des Ressources en Eau

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau I</b> : Principales caractéristiques des 9 types d’unités de production identifiées à Koumbia .....	16
<b>Tableau II</b> : Description des traitements mis en œuvre en 2012 et ceux réalisés dans notre étude en 2013. ....	19
<b>Tableau III</b> : L’itinéraire technique retenu à l’issue de la troisième étape de conception, pour être appliqué sur les parcelles.....	21
<b>Tableau IV</b> : Variables actives utilisées pour l’analyse des correspondances multiples. ....	24
<b>Tableau V</b> : Variables supplémentaires utilisées pour l’analyse des correspondances multiples.....	26
<b>Tableau VI</b> : Comparaison du temps de désherbage entre le système conventionnel et le système d'agriculture de conservation.....	42
<b>Tableau VII</b> : Comparaison du temps de travail total, du rendement grain et du rendement paille du maïs entre les traitements par groupe identifié.....	44
<b>Tableau VIII</b> : Principales caractéristiques des exploitations pour leur situation de base (Scenario S0). ....	46
<b>Tableau VIII : (Suite)</b> .....	47
<b>Tableau IX</b> : Sole de maïs des exploitations pour les scénarios S1 et S2.....	49
<b>Tableau X</b> : Avantages et contraintes mentionnées par les producteurs dans la gestion du système en AC.....	56
<b>Tableau XI</b> : Ajustements du système de production proposés par les producteurs à l'issue des discussions. ....	57

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Carte de Koumbia et de Waly .....	13
<b>Figure 2</b> : Evolution des hauteurs d'eau et du nombre de jours de pluie au cours de l'hivernage 2013 .....	14
<b>Figure 3</b> : Calendrier agricole simplifié de Koumbia, adapté de Vall (2004). .....	15
<b>Figure 4</b> : Dispositif expérimental en milieu paysan.....	20
<b>Figure 5</b> : Modèle conceptuel de <i>CikEda</i> adapté pour tenir compte de l'AC .....	29
<b>Figure 6</b> : Représentation des modalités des variables actives dans le plan factoriel (1,2). ...	32
<b>Figure 7</b> : Représentation des modalités des variables actives dans le plan factoriel (1,3). ...	34
<b>Figure 8</b> : Représentation des modalités des variables supplémentaires dans le plan factoriel (1,2). .....	35
<b>Figure 9</b> : Diagramme de la classification ascendante hiérarchique. ....	36
<b>Figure 10</b> : Projection des groupes de producteurs dans le plan factoriel (1,2). .....	37
<b>Figure 11</b> : Enherbement des parcelles de système d'agriculture de conservation (AC) et de système conventionnel (Conv) aux différentes périodes de mesure. ....	39
<b>Figure 12</b> : Humidité du sol sur des parcelles en AC et en agriculture conventionnelle en août, septembre et octobre.....	41
<b>Figure 13</b> : Bilan céréalier des exploitations pour la situation de base (S0) et des scénarios d'insertion de l'AC (S1 et S2). ....	50
<b>Figure 14</b> : Solde économique des exploitations pour la situation de base (S0) et des scénarios de l'AC (S1 et S2). .....	51
<b>Figure 15</b> : Bilan fourrager (en UF et en MAD) des animaux alimentés sur les exploitations en saison sèche chaude pour la situation de base (S0) et des scénarios de mise en œuvre de l'AC (S1 et S2).....	52
<b>Figure 16</b> : Charge de travail du système de culture des exploitations pour la période d'hivernage, de saison sèche froide et de saison sèche chaude en situation de base (S0) et des scénarios d'insertion l'AC (S1 et S2). ....	53
<b>Figure 17</b> : Charge totale de travail sur le système de culture des exploitations sur l'année, en situation de base (S0) et des scénarios d'insertion de l'AC (S1 et S2). .....	54
<b>Figure 18</b> : Bilan N, P et K apparent des parcelles de maïs pour la situation de base (S0) et sous scénarios d'insertion de l'AC (S1 et S2). .....	55

<b>Figure 19:</b> Bilan céréaliier des exploitations pour la situation de base (S0), le scénario S1 et le scénario d'ajustement S3.....	59
<b>Figure 20:</b> Solde économique des exploitations pour la situation de base (S0), le scénario S1 et le scénario d'ajustement S3.....	60
<b>Figure 21:</b> Charge de travail sur le système de culture des exploitations pour la situation de base (S0), le scénario S1 et le scénario d'ajustement S3.....	60
<b>Figure 22:</b> Charge totale de travail sur le système de culture des exploitations pour l'année en situation de base (S0), de scénario S1 et de scénario d'ajustement S3. ....	61
<b>Figure 23:</b> Bilan fourrager (UF et MAD) des exploitations pour la situation de base (S0), le scénario S1 et le scénario d'ajustement S3. ....	62

## RESUME

L'agriculture de conservation (AC) présente un potentiel d'amélioration des performances agronomiques et techniques des exploitations familiales. Concilier ce système de culture avec l'environnement agroclimatique, et déterminer les conditions favorables à son insertion dans les exploitations, favoriseront son adoption dans les régions où il est promu pour faire face aux effets négatifs de l'agriculture conventionnelle. C'est dans ce cadre que s'est inscrite notre étude qui a été menée à Koumbia, en zone cotonnière ouest du Burkina Faso, au cours de la période 2013-2014, dans une démarche de recherche participative pour définir des systèmes d'AC réalisable dans ce contexte. Les performances d'un système d'agriculture de conservation construit avec les producteurs et conduit par 14 expérimentateurs ont été évaluées. Le modèle de simulation *Cikéda* a servi d'outil de discussion avec 4 producteurs pour explorer les modalités d'une insertion du système expérimenté au sein de leur exploitation. Le suivi à la parcelle indique une meilleure humidité sur les parcelles en AC, des rendements en maïs équivalents entre le système d'AC et le système conventionnel, mais des temps de désherbage significativement supérieur sur le système d'AC (2 à 3,5 fois plus que celui du système conventionnel) lorsque la gestion de l'enherbement est manuelle. A l'échelle de l'exploitation, les simulations indiquent que l'insertion de l'agriculture de conservation permettrait d'améliorer le bilan fourrager des animaux complémentés en saison sèche chaude, d'augmenter le solde économique des exploitations et de rendre positif le bilan minéral des parcelles. Toutefois, cela s'accompagnerait d'une diminution du bilan céréaliier des exploitations (4 à 42%) et d'une augmentation de la charge de travail des exploitations (2 à 10%), surtout lorsque la gestion des mauvaises herbes est manuelle. Les discussions avec les producteurs, appuyées par les simulations indiquent que l'utilisation d'herbicides, associée à des ajustements mineurs du système de production comme la culture de mucuna ou du sésame, en réduisant la superficie de coton ou de sorgho permettraient de modérer l'augmentation de la charge de travail de l'exploitation pour faciliter l'insertion de l'AC, tout en améliorant de manière substantielle le revenu des exploitations. La principale contrainte à l'insertion de l'AC demeure l'obtention de la biomasse pour une bonne couverture du sol. Pour une réelle adoption de l'AC, il est donc nécessaire de redéfinir des modes de gestion des résidus de culture à l'échelle du territoire, et encourager les producteurs à intégrer des soles de cultures fourragères comme une composante entière de leur système de production.

**Mots clés :** agriculture de conservation, modèle, exploration, approche participative, performances, exploitations familiales, Burkina Faso.

## ABSTRACT

Conservation agriculture (CA) has potential for improving agronomic and technical performance for smallholders. Reconciling this farming practice with agroclimatic environment and determine conditions for its inclusion in the farms will promote its adoption in some areas where this farming practice was promoted to face the negative effects of conventional farming. It is in this framework that enrolled our study which was conducted in Koumbia, located in the western cotton growing zone of Burkina Faso ,from 2013 to 2014. The performance of a conservation agriculture system designed with farmers and implemented on-farm by 14 farmers were evaluated. A whole-farm model named *Cikeda* was used as a discussion tool with 4 farmers to explore experienced system inclusion modalities in their farm. Monitoring experienced plots indicates better moisture on CA plots, equivalent maize grain yield between CA system and conventional system, but significantly higher weeding time under CA system (2 to 3.5 times more than conventional system case) when weed management is manual. On the farm scale, the simulations indicate that inclusion of conservation agriculture would improve forage balance of animals complemented during the hot dry season, increase farm economic balance and make positive the mineral status of the plots. However, this could decrease farm cereal balance (4 to 42%) and increase farm workload (2 to 10%), especially when weed management is manual. Discussions with farmers through simulations indicate that herbicides use associated with minor adjustments in production system as mucuna or sesame grow by reducing cotton or sorghum area would moderate farm workload increase to facilitate CA inclusion while leading to substantial farm income improve. The main obstacle to CA inclusion remains getting enough biomass for soil cover. For CA full adoption, it is necessary to redefine crop residue management at territory level and encourage farmers to integrate forage production as a full component of their production system.

Keywords: conservation agriculture, model, exploration, participatory approach, performance, smallholders, Burkina Faso.

## INTRODUCTION

La dégradation des terres se réfère à l'altération de la fonction ou la réduction de la capacité productive de la terre (Scherr et Yadav, 1996 ; Bai *et al.*, 2008) ; en terme de perte de fertilité du sol, de la biodiversité du sol et de dégradation des ressources naturelles (FAO, 2002). Elle résulte de facteurs d'ordres naturels (terrain en pente, sols acides, sols sableux ou limoneux, forte intensité de pluie, etc.), et de la mauvaise utilisation des terres (déforestation, surpâturage, pratiques culturales inadéquates, etc.) (FAO, 1994). La principale source de dégradation des sols provient des activités agricoles et extractives (Mannava et Ndegwa, 2007). Cette dégradation a pour conséquences : la baisse du potentiel de production, la nécessité de plus en plus d'intrants pour maintenir les niveaux de production, des coûts pour la réhabilitation des sols, l'ensablement des cours d'eaux (Scherr et Yadav, 1996).

En zone cotonnière agropastorale d'Afrique de l'Ouest, le système de production se caractérise par une forte exportation des résidus de cultures via la vaine pâture et la constitution de stocks de fourrage destinés à l'alimentation des animaux (Kassam, 2010 ; Coulibaly, 2012). Les restitutions de fumure via les déjections animales ou le compost et les apports d'engrais minéraux, sont généralement en dessous des recommandations (Smaling, 1993 ; Blanchard, 2005 ; Traoré *et al.*, 2007) et ne sont effectuées que sur une faible part des superficies cultivées. Le travail du sol promu par les structures de développement de la culture cotonnière est généralisé. Ces facteurs concourent à la réduction progressive de la fertilité des sols (Hien *et al.*, 2002 ; Coulibaly *et al.*, 2012), avec pour conséquence une baisse des rendements.

Dans de nombreux agro-systèmes (Amérique latine, USA, Australie, etc.), l'agriculture de conservation est apparue comme une option d'agriculture durable en réponse aux effets négatifs de l'agriculture conventionnelle sur la productivité et sur l'environnement (Florentin, 2010 ; Amos *et al.*, 2012 ; Friedrich *et al.*, 2012). C'est un mode de production fondé sur la combinaison de trois principes à savoir : la perturbation minimale du sol, sa couverture permanente par *mulch* végétal vivant ou mort (paille) et la rotation et/ou association des cultures. Dans ces agro-systèmes, des combinaisons de ces principes adaptés aux caractéristiques socio-économiques et techniques des exploitations sont observées (Derpsch, 2001).

En Afrique subsaharienne, en particulier dans les zones subhumides et semi-arides qui se caractérisent par de fréquentes poches de sécheresses, une attention de plus en plus croissante est accordée à l'agriculture de conservation (AC) comme un moyen d'accroître la sécurité

alimentaire et de réduire la dégradation de l'environnement (Baudron *et al.*, 2012). Cependant, à l'exception de quelques cas en Afrique de l'Est, du Sud et à Madagascar, le niveau d'adoption reste faible (Kassam *et al.*, 2009). Aussi, une synthèse de l'état de la recherche (Knowler et Bradshaw, 2007) montre que les facteurs influençant la décision des producteurs d'adopter des systèmes d'AC sont très variables selon les agro-systèmes. Les efforts visant à promouvoir l'agriculture de conservation doivent donc être adaptés aux particularités (spécificités) des conditions locales et aux exigences de l'agriculteur. (Wall, 2007 ; Giller *et al.*, 2011; Preface, 2012).

C'est dans cette perspective que le projet Agro-ecology Based Aggradation Conservation Agriculture (ABACO) a été initié pour aider les producteurs à concevoir et mettre en œuvre des options (combinaison de principes) de systèmes d'agriculture de conservation adaptés à la diversité des situations rencontrées dans les régions semi-arides d'Afrique (Tittonell *et al.*, 2012).

Dans le cadre de ce projet, la proximité des pratiques de gestion existantes des exploitations (assolement, rotation, opération culturale, gestion des résidus, gestion des espèces animales en présence) avec les principes de l'Agriculture de Conservation a été caractérisée en zone cotonnière ouest du Burkina Faso; et les effets potentiels à l'échelle des exploitations de l'insertion d'un système de culture basé sur les principes de l'AC ont été évalués à l'aide d'un modèle (Ouedraogo, 2012). Cette étude a confirmé que l'insertion de l'AC devait tenir compte de la diversité des types d'exploitations et de leurs pratiques initiales de gestion. Différentes combinaisons des trois principes de l'AC et différentes modalités de mise en œuvre de ces combinaisons doivent être élaborées et expérimentées en concertation avec les producteurs. Notre étude s'inscrit dans cette dynamique et a pour thème, ***Co-construction de systèmes d'Agriculture de Conservation adaptés au contexte agro-écologique de la zone cotonnière ouest du Burkina Faso.***

L'objectif global est de construire avec les producteurs, des systèmes d'agriculture de conservation adaptés à leur environnement agroclimatique (caractérisé par une forte pression pastorale, et une dégradation des sols) et à leurs contraintes socio-économiques (problème de main d'œuvre).

De façon spécifique, il s'agit de :

- co-construire et évaluer en condition réelle de production, des modalités techniques de mise en œuvre de système de culture basé sur les principes de l'AC ;
- définir avec les producteurs, les conditions d'insertion des systèmes d'AC co-construits à l'échelle de l'exploitation, en s'aidant d'un modèle de simulation.

Notre démarche se structure autour des hypothèses suivantes :

- en dépit de leur opposition au modèle technique dominant observé dans la zone, les systèmes d'AC permettent d'améliorer à court terme, les performances agronomiques et techniques des cultures céréalières ;
- la démarche de construction et d'expérimentation avec les producteurs de modalités de systèmes d'AC, assistée par un outil de simulation, peut permettre d'identifier des ajustements des systèmes de production favorisant l'introduction de l'AC dans les exploitations.

Le présent mémoire qui rend compte du travail réalisé, est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre donne un aperçu des systèmes d'agriculture de conservation mis en œuvre en zone subsaharienne afin de tirer des enseignements sur les systèmes de cultures à tester, et présente les méthodes de conception de systèmes d'agriculture innovants pour dégager une approche adaptée à notre recherche. Le deuxième expose la démarche adoptée au cours de l'étude, et le troisième chapitre fait ressortir et discute les principaux résultats obtenus.

## **CHAPITRE 1 : SYSTEMES D'AGRICULTURE DE CONSERVATION EN ZONE SUBSAHARIENNE ET PROCESSUS DE CONCEPTION DE SYSTEMES D'AGRICULTURE INNOVANTS.**

L'agriculture de conservation est actuellement pratiquée sur environ 125 millions d'hectares dans le monde (environ 9 % des superficies cultivées) (Friedrich *et al.*, 2012 ; Kassam *et al.*, 2012). Les USA possèdent les plus importantes superficies en agriculture de conservation. Ils totalisent avec le Canada, 32 % de la superficie globale en AC (Derpsch et Friedrich, 2009). L'Amérique latine totalise 45 % de la superficie globale en AC. L'AC y est le système agricole dominant avec plus de 60 % des superficies cultivées (Friedrich *et al.*, 2012). L'Afrique est le continent présentant les plus faibles superficies sous systèmes d'agriculture de conservation. Les niveaux d'adoption les plus élevés sont essentiellement observés dans les exploitations commerciales d'Afrique australe (Kassam *et al.*, 2009). Depuis une dizaine d'années, l'AC est en promotion dans les exploitations familiales en zone subsaharienne ; surtout en Afrique Australe et de l'Est (Zambie, Zimbabwe, Kenya, Tanzanie, Éthiopie, Mozambique, Malawi, etc.) où certains états ont intégrés ce système d'agriculture dans leurs politiques gouvernementales (Boudron *et al.*, 2007 ; Thiombiano et Meshack, 2009 ; Milder *et al.*, 2011 , Friedrich *et al.*, 2012). Nous passerons en revue les performances de ces systèmes en Afrique subsaharienne avant de nous interroger sur les méthodes de conception des systèmes de culture innovants.

### **1.1. Systèmes d'agriculture de conservation et leurs performances en zone subsaharienne.**

#### **1.1.1. En Afrique de l'Est, du Sud et à Madagascar**

Des résultats encourageants de mise en œuvre de système d'AC par les petites exploitations sont constatés en Afrique de l'Est et du Sud à la faveur de projets de recherche appliquée avec une implication des gouvernements depuis la fin des années 1990 (Shetto et Owenya, 2007 ; Thierfelder et Wall, 2012 ; Durant la saison 2009-2010 environ 180 000 et 110 000 exploitations familiales ont été appuyées pour adopter l'agriculture de conservation respectivement en Zambie et au Zimbabwe (Baudron *et al.*, 2012). Avec 47 000 hectares sous des formes d'AC, le Malawi commence à accroître son intérêt pour ce système (Thiombiano et Meshack, 2009). La Zambie est de plus en plus présentée comme un exemple de réussite avec environ 10 % des exploitations familiales ayant intégré ce système en 2003 (Baudron *et al.*, 2007) et 30 % en 2010 (CFU, 2010).

Les systèmes de travail minimum du sol les plus couramment associés à l'AC en Zambie et au Zimbabwe sont pour les producteurs manuels le *planting Basins*, qui consiste à creuser manuellement des trous de 30 cm de long, de 15 cm de large et de 10 à 15 cm de profondeur ; et le *ripping*, qui consiste à effectuer un scarifiage en ligne espacé de 75-95 cm pour ceux disposant de force de traction animale (Baudron *et al.*, 2007 ; Mazvimavi *et al.*, 2008). En Tanzanie et au Kenya, les petits exploitants manuels effectuent le semis direct à la canne planteuse, et ceux disposant de bœufs de trait ont opté pour le semoir mécanique de semis direct ou pour le *ripping* (Shetto et Owenya, 2007 ; Kaumbutho et Kienzle, 2007). La promotion de l'AC a été principalement observée dans des zones caractérisées par des systèmes de production agriculture-élevage avec le maïs comme principale céréale pour la consommation. Les choix d'intégration de légumineuse dans les systèmes de culture par les agriculteurs se sont portés le plus souvent sur l'option d'association dans l'objectif de toujours maintenir le maïs dans la sole et de diversifier leur production. Les légumineuses privilégiées étant celles comestibles ou disposant d'un marché local (le lablab, le haricot ou le pois d'angole) au détriment des plantes de couverture comme le mucuna ou le *Canavalia* produisant une quantité importante de biomasses (Shetto et Owenya, 2007 ; Kaumbutho et Kienzle, 2007).

Le bénéfice rapporté par les producteurs et les promoteurs dans cette région, est que l'AC permet un semis précoce des cultures puisque la préparation du sol est facile et rapide ; il en résulte une utilisation efficiente de l'eau de pluie, réduisant le risque d'échec des cultures, quand la pluviométrie est inférieure à la moyenne ou que la pluie est mal répartie (Haggblade et Tembo, 2003 ; Rockström *et al.*, 2009 ; Thierfelder et Wall, 2012). Des essais en milieu paysan menés dans la même région (Kenya, Tanzanie, Ethiopie et Zambie) durant 2 à 7 saisons, indiquent une augmentation conséquente du rendement de maïs de 20 à 120 % par rapport au système conventionnel (Rockström *et al.*, 2009). Amos *et al.* (2012) évoquent pour des essais sur 3 ans au Malawi, une augmentation significative du rendement de maïs sous AC (4,4 t/ha en moyenne) par rapport à la pratique conventionnelle des producteurs (3,3 t/ha en moyenne). Ils notent néanmoins que sous AC (semis direct avec paillage), le maïs associé à une légumineuse présente des rendements plus faibles par rapport à la culture pure en saison de faible pluviométrie. Au Zimbabwe, Thierfelder et Wall (2012) évoquent une augmentation des rendements du maïs qui ne devient toutefois significative, en comparaison au système conventionnel de labour qu'après plusieurs saisons de culture. Mashingaidze *et al.* (2012) indiquent des rendements plus faibles du sorgho sous *planting basins* avec *mulch* de résidus

de maïs (2602 kg/ha), que sous la pratique conventionnelle de labour (4159 kg/ha) du fait d'une faible levée de la culture sous AC.

L'un des défis majeurs rencontrés en agriculture de conservation dans cette zone est la possibilité de disposer de résidus suffisants pour une bonne couverture du sol à cause des utilisations concurrentes, principalement l'alimentation des animaux (Bourdon *et al.*, 2007 ; Shetto et Owenya, 2007). Aussi, la difficulté à laquelle doivent faire face les agriculteurs adoptant l'AC est l'augmentation du temps de désherbage lorsque l'opération est réalisée manuellement (Haggblade et Tembo, 2003 ; Baudron *et al.*, 2007 ; Mashingaidze *et al.*, 2012). Cette difficulté est surmontée par les producteurs utilisant le désherbage chimique. Les démonstrations de système d'AC au Malawi associées à l'utilisation d'herbicide de pré-levée et de post-levée pour lutter contre les mauvaises herbes et aussi à une bonne application d'engrais, donnent un revenu net plus élevé que la pratique habituelle ; due à une économie de main-d'œuvre pour le billonnage et le désherbage, et à une augmentation de rendement (Mloza-Banda et Nanthambwe, 2010). En Ouganda, l'utilisation des plantes de couverture s'est révélée être efficace et moins exigeante en temps pour la gestion des mauvaises herbes. Par ailleurs, elle donnait les meilleurs rendements et a donc été la plus adoptée par la majorité des membres des champs-écoles sur leur propre parcelle (Nyende *et al.*, 2007).

Un document de synthèse sur l'agriculture de conservation à Madagascar (Rakotondramanana *et al.*, 2010) montre que la diffusion a commencé à Madagascar en 2003 et a connu une forte progression dans certaines zones agro-écologiques dont le Lac Alaotra ; principale zone de production de riz du pays où il a été observé une forte adhésion des paysans. Pour la saison pluviale 2008/2009, la superficie sous la technique de semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) a été de l'ordre de 5200 ha et a concerné environ 8200 petits agriculteurs. Les principaux systèmes de semis direct sur couverture végétale adoptés par les agriculteurs dans les principales zones de diffusion ont été : (i) le riz pluvial précédé d'une culture de contre saison de vesce ou de dolique, et le riz associé à du *Stylosanthes guianensis* chaque année dans les bas-fonds ; (ii) le maïs associé avec des légumineuses (*Dolichos lablab*, *Vigna unguiculata*, *Vigna umbellata* ou *Mucuna pruriens*) suivi par du riz à la campagne suivante sur sol exondé ; (iii) le maïs associé au niébé suivi du coton à la campagne suivante dans la zone semi-aride (Domas *et al.*, 2008 ; Serpentié, 2009 ; Rakotondramanana *et al.*, 2010). De ces études, il ressort que les bénéfices sous SCV sont généralement visibles au bout de 3 ans de pratique (Penot *et al.*, 2012 ; Faure *et al.*, 2013). Les rendements moyens calculés sur 6 ans d'expérimentation, sont de l'ordre de 3,5 - 4t/ha de

grain de maïs en SCV contre 2t/ha en labour (Moussa *et al.*, 2009). Rakotondramanana *et al.* (2010) notent que l'association maïs-légumineuse (dolioue, niébé, *Vigna umbellata*, mucuna) permet de réduire considérablement les coûts de main d'œuvre (préparation de la parcelle et contrôle des adventices en particulier) grâce à une couverture rapide du sol et de la forte biomasse produite.

### **1.1.2. En Afrique de l'Ouest et du centre**

Dans les zones tropicales humides d'Afrique de l'Ouest, caractérisées par une répartition bimodale des pluies, la recherche s'est orientée vers la mise au point de systèmes alternant cultures principales et jachère de courte durée ou jachère améliorée par la présence d'une plante de couverture pour le contrôle des adventices (Dounias, 2001). Ainsi, au Bénin les techniques d'AC expérimentées ont consisté à une culture pure ou en relais du mucuna avec le maïs. Le mucuna se développe en courte jachère et sert de mulch pour le semis de maïs la saison suivante. Ces systèmes se sont montrés efficaces contre l'infestation des parcelles par *Imperata cylindrica* et ont été diffusés avec succès (Versteeg *et al.*, 1998). Manyong *et al.* (1999) ont estimé à 10 000 le nombre de producteurs pratiquant ces systèmes. En Côte d'Ivoire, comme systèmes expérimentés, on peut noter l'alternance du maïs ou du riz en semis direct en petite saison des pluies avec la jachère (6 à 18 mois) de *Cajanus cajan*s ou de *Chromolaena odorata* pendant la grande saison des pluies, et aussi l'association de *Pueraria phaseoloides* avec du maïs, du riz, du manioc ou de l'igname (Dounias, 2001 ; Gbakatchetche *et al.*, 2010). Bien que des gains de rendement aient été rapportés, ces systèmes ont semblé trop complexes à gérer par les producteurs et donc peu compétitifs face à l'exploitation des jachères après défriche-brûlis habituellement pratiquée et n'ont pas eu l'impact escompté (Dounias, 2001).

Le Ghana est l'un des pays pionnier dans le développement de système d'AC en Afrique de l'Ouest et du centre. Le semis direct avec couverture végétale a été développé dans les années 90 et a rapidement rencontré l'adhésion des agriculteurs du fait que traditionnellement les agriculteurs pratiquent le semis direct sous brûlis à l'aide de bâton de semis ou de machette (Ekboir *et al.*, 2002). En l'an 2000, le semis direct avec couverture végétale était pratiqué sur 45 000 ha par environ 100 000 petites exploitations familiales (Ekboir *et al.*, 2002) et par 350 000 exploitations en 2002 (Milder *et al.*, 2011).

La principale pratique d'AC qui a été adoptée au Ghana est la technique qui consiste à une coupe et/ou à un traitement au glyphosate de la végétation puis à un semis direct de maïs ou

de manioc dans le *mulch* après son séchage ; les mauvaises herbes étant contrôlées manuellement, avec souvent une utilisation d'herbicides de pré-levée. A cela, s'ajoutent des techniques qui sont plus ou moins restées au stade d'expérimentations en milieu paysan. Ce sont entre autres : (i) la taille des arbustes à croissance rapide de système de culture en couloir, suivi de semis direct dans le feuillage ; (ii) l'association ou la culture en relais de mucuna ou du canavalia avec du maïs, après récolte du maïs, la plante de couverture est laissée en courte jachère durant la petite saison des pluies ; (iii) le traitement à l'herbicide de parcelle de mucuna mise en place par semis direct, suivi de semis direct de maïs, de légume ou de manioc dans la biomasse (Boahen *et al.*, 2007). Du fait de meilleurs rendements, une augmentation du revenu net par hectare de 145% a été observée par Adjei *et al.* (2003). Une réduction du temps de travail de 24% a été observée par Adjei *et al.*, (2003) compte tenu de la diminution du temps de préparation du sol et des opérations de désherbage. Cependant, les agriculteurs affirment que le semis direct à la machette dans le *mulch* est gênant surtout durant les premières années de pratique et mentionnent une difficile germination sous des quantités importantes de couvertures affectant la densité de population (Ekboir *et al.*, 2002).

Des systèmes d'AC ont été et sont en train d'être expérimentés ou pré vulgarisés en condition aride et semi-aride d'Afrique de l'Ouest et du Centre, caractérisé par une mobilité du troupeau et une dynamique d'intégration agriculture élevage, notamment au nord Cameroun, au Mali et au Burkina Faso (Djamen *et al.*, 2005). Au Cameroun et au Mali, la mise au point de référentiels techniques de système d'AC adaptés en zone cotonnière a été conduite entre les années 2000 et 2005. L'utilisation de la canne planteuse en semis manuel et du semoir mécanique épandeur Fitarelli® pour le semis attelé, ont été expérimentés. La diversification des cultures s'est focalisée sur des associations céréales-plantes de couverture en rotation avec le coton, qui permettent de produire suffisamment de biomasses pour le paillis du coton de l'année suivante et pour l'alimentation des animaux, tout en assurant une production de grain alimentaire acceptable (Sissoko et Autfray, 2008 ; M'biandoun *et al.*, 2009 ). Au nord Cameroun, où une part importante des superficies de coton font l'objet d'un semis direct, l'AC a rencontré l'engouement des producteurs. Les systèmes qui se sont révélés intéressants ont été l'association maïs-mucuna, maïs-*Vigna unguiculata*, sorgho-*Crotalaria retusa* et dans une moindre mesure sorgho-*Bracharia ruziziensis* (M'biandoun *et al.*, 2009). Sur des parcelles d'au moins 3 ans en agriculture de conservation, Naudin *et al.* (2005) relèvent des temps de travaux légèrement moindres et des marges brutes plus élevées par rapport au système conventionnel. Des rendements de céréales (maïs et sorgho) équivalents ou

supérieurs en AC en comparaison au système conventionnel sont rapportés par Naudin *et al.* (2010) sur des parcelles de 1 à 5 ans sous AC au nord Cameroun. A l'extrême nord, des rendements de coton significativement supérieurs sous AC sont rapportés par ces mêmes auteurs. Au Mali, des gains de temps de travaux liés à l'utilisation des herbicides et des rendements équivalents en coton, maïs, sorgho ou mil ont été observés sous AC (céréales en association avec du mucuna, du niébé ou du bracharia) comparé à la pratique conventionnelle, sur 2 à 3 ans d'expérimentations en rotation avec le coton (Sissoko et Autfray, 2008).

Au Burkina Faso, la FAO en collaboration avec l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) ont exploré des systèmes d'AC en zone cotonnière au sud-ouest du pays par l'association et la rotation du maïs, du sorgho ou du mil avec le mucuna, le niébé, le bracharia ou le pois d'angole (Kassam *et al.*, 2010), et ont noté des résultats positifs. En zone nord du Burkina Faso, caractérisé par un climat plus aride, des systèmes d'AC testés dans le cadre de champs-école sur une année (Sansan, 2011) indiquent que le sorgho associé au niébé ou à la dolique avec un travail minimum du sol à l'aide de coutrier, et le mil associé au niébé ou de l'arachide en semis direct, donnent de meilleurs rendements par rapport à ceux habituellement observés sous système traditionnel. De tels résultats s'expliquent par la bonne conservation et infiltration des eaux de pluie, favorisée par la couverture du sol permise par les cultures associées. Cet auteur mentionne aussi des temps de travaux moindres, essentiellement à cause de l'économie du temps de labour. Sur les sols nus et encroutés en zone semi-aride du Burkina Faso, Lahmar *et al.* (2012) proposent l'établissement d'un système d'agriculture de conservation fondé sur le taillis d'arbustes comme source de biomasse, cela en 3 étapes : (i) utiliser des techniques traditionnelles de collecte de l'eau de pluie telles le zaï pour réhabiliter progressivement la fonction de production de biomasse du sol ; (ii) favoriser la régénération d'arbustes à fonction multiple tels que *Piliostigma reticulatum* et *Guiera senegalensis*, traditionnellement laissés et gérés sur les parcelles de culture au cours de la phase de réhabilitation du sol ; (iii) passer ensuite au système d'AC classique une fois que le niveau de fertilité et de collecte de l'eau permet d'augmenter la production primaire de biomasse.

L'analyse bibliographique met en lumière une diversité de systèmes d'agriculture de conservation en Afrique subsaharienne suivant le contexte agroclimatique des zones où ils sont promus. Ces systèmes montrent des performances agronomiques et/ou économiques intéressantes, et sont adoptés par les producteurs avec plus ou moins de succès selon le niveau

d'implication des acteurs et suivant l'adéquation de ces systèmes avec les systèmes de culture et l'environnement technique des exploitations.

## **1.2. Méthodes de conception de système d'agriculture innovant**

La conception d'un système d'agriculture innovant vise à répondre aux insuffisances du système existant, et peut prendre en compte différents niveaux ou échelles (l'échelle de la parcelle ou du troupeau, de l'exploitation agricole, du territoire ou de la région). Selon le niveau d'échelle, il existe plusieurs méthodes de conception utilisant plus ou moins des outils et approches participatives (Novak, 2008), qui peuvent s'imbriquer.

### **1.2.1 Expérimentation à la parcelle**

Elle consiste en des essais factoriels en station expérimentale sur des parcelles de taille réduite. Elle permet d'évaluer les performances agronomiques et environnementales de systèmes innovants, et dans une moindre mesure les performances économiques. Cependant, elle demeure trop longue et coûteuse pour tester des systèmes innovants sur des climats variés et des sols diversifiés (Blazy, 2008). En outre, face à l'impact limité de ce type de démarche en terme d'adoption de nouvelle technologie par les producteurs (Wey *et al.*, 2010), il a été développé des recherches associant davantage les bénéficiaires.

### **1.2.2. Méthodes dites « participatives »**

Qualifiées de recherche participative ou recherche-action, elles visent la conception de systèmes innovants avec la participation des acteurs (agriculteurs, agents de développement), suivi d'une expérimentation de ces systèmes sur des exploitations réelles. Au titre de ces méthodes, on peut noter la méthode participative de l'ICRAF (Conseil International pour la Recherche en Agroforesterie), la méthode de prototypage et la démarche d'expérimentation chez et par le paysan.

**La méthode participative de l'ICRAF** consiste d'abord en un diagnostic des systèmes en place, pour identifier les problèmes rencontrés par les agriculteurs et les solutions qu'ils adoptent. Ensuite, on procède à la conception de systèmes adaptés au contexte avec la participation des producteurs. Les systèmes ainsi retenus sont mis en place sur des exploitations et évalués de manière participative (choix des indicateurs par les agriculteurs) et analysés par les chercheurs (Cardoso *et al.*, 2001).

**La méthode de prototypage (*prototyping*) de Vereijken** consiste à créer en concertation avec les acteurs (chercheurs, agriculteurs, agents de développement) un prototype (système de

production) en fonction d'objectifs (indicateurs) détaillés et chiffrés à atteindre pour améliorer les systèmes de production de la zone. Le prototype théorique est ensuite testé sur une ferme expérimentale ou sur des fermes pilotes chez des agriculteurs volontaires (10-15 exploitations) pour prendre en compte les principales conditions pédologiques et de conduite de système de culture de la zone. Si l'objectif du prototype est atteint, on passe à la phase de diffusion et d'adaptation avec un grand nombre d'acteurs. Depuis sa mise au point (Vereijken, 1997), la méthode a été reprise et adaptée par de nombreux auteurs (Stoorvogel *et al.*, 2004 ; Langeveld *et al.*, 2005).

**La démarche d'expérimentation chez et par le paysan (ECP)** adoptée par Coulibaly (2012), vise à impliquer les paysans dans tout le processus de conception à travers une phase de diagnostic, de recherche de solution, puis une phase d'expérimentation chez et par les paysans. Cette démarche s'appuie sur des plateformes d'innovation servant d'interface entre l'équipe de recherche et les acteurs de terrain (producteur, service technique de l'état). Ces plateformes dénommées comités de concertations villageois (CCV) sont constituées de groupements de producteurs de coton, d'éleveurs, de femmes, de riziculteurs, etc. Ainsi, en interaction avec les acteurs dans le cadre du CCV, des protocoles expérimentaux et des itinéraires techniques sont proposés ; conduits par des producteurs-expérimentateurs volontaires et suivis par l'équipe de recherche. Les résultats agronomiques, techniques et économiques des expérimentations sont par la suite présentés et discutés afin d'apporter des améliorations.

L'avantage de ces méthodes participatives est qu'elles permettent de tester les systèmes tout en les adaptant aux contextes de l'exploitation. De plus, elles informent simultanément sur les performances biophysiques, économiques et le potentiel d'adoption des innovations par les agriculteurs. Cependant, l'évaluation des innovations avec ces méthodes prend généralement du temps (Bernard, 2010) : 4 à 6 ans pour l'évaluation d'un prototype d'après Vereijken (1997). De plus, comme le note Blazy (2008), ces méthodes restent coûteuses et partielles en ce sens qu'elles ne portent que sur une partie de l'exploitation et l'évaluation est limitée à des panels d'agriculteurs restreints, ce qui augmente le risque de biais dans la conception et l'évaluation du système.

### **1.2.3. Utilisation de modèles**

Modéliser un système consiste à convertir le système réel en une représentation schématique et simplifiée (Dzotsi, 2002 ; Van Ittersun et Donatelli, 2003), et cela sous forme conceptuelle ou numérisée pour reproduire le fonctionnement du système représenté. Les modèles numérisés sont de plus en plus utilisés pour soutenir le développement des systèmes de culture (Sterk, 2007). En amont, ils aident à générer des systèmes de culture alternatifs (Dogliotti *et al.*, 2005) et à simuler le développement de culture en prenant en compte l'interaction entre plusieurs facteurs (Ndour *et al.*, 2006 ; Corbeels *et al.*, 2014). En aval, ils permettent de tester, évaluer et extrapoler rapidement à une diversité d'exploitations et à moindre coût, des systèmes de cultures innovants ; cela, dans différentes conditions climatiques, de sol, de prix et de politiques agricoles (Blazy, 2008 ; Reynaud, 2009 ; Whitbread *et al.*, 2010). Dans le processus de conception, les modèles se révèlent être des outils intéressants d'aide à la décision en ce sens qu'ils peuvent permettre d'accompagner les producteurs pour mener une réflexion sur l'évolution de leurs stratégies et de leurs pratiques (technologies innovantes) sur la production, les résultats économiques et l'utilisation des ressources (Carberry *et al.*, 2002 ; Carmona, 2005 ; Andrieu *et al.*, 2007 ; Bernard, 2010).

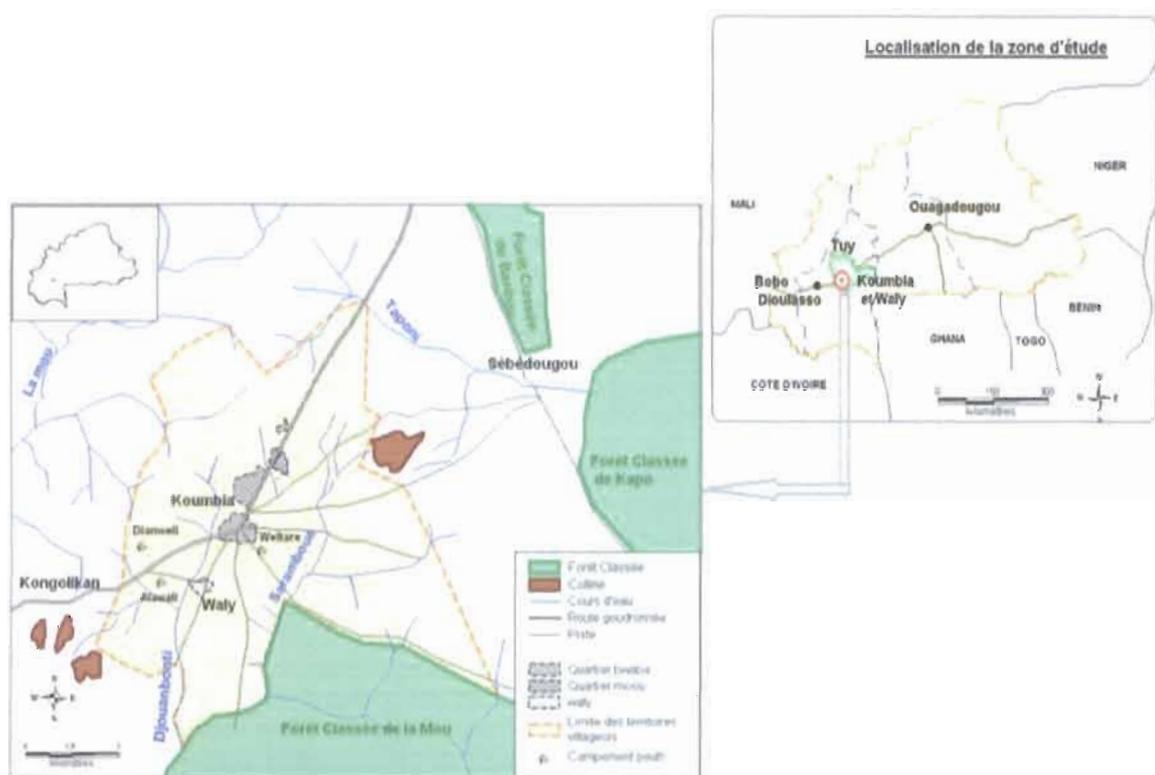
### **1.2.4. Développement de systèmes d'agriculture de conservation en zone subsaharienne**

Les initiatives de développement et de diffusion de techniques d'agriculture de conservation en zone subsaharienne ont le plus souvent été menées dans le cadre d'une approche linéaire plutôt classique à savoir : le développement de paquets technologiques en station ; la démonstration en milieu paysan (essais gérés par les producteurs sur leurs propres parcelles et/ou sur des champs-écoles) ; et la diffusion auprès des producteurs (Ekboir *et al.*, 2002 ; Naudin *et al.*, 2005 ; Baudron *et al.*, 2007 ; Shetto et Owenya, 2007). Les insuffisances de cette démarche résident dans le fait que des systèmes d'AC performants, élaborés et mis en place en station sont souvent difficilement applicables par les exploitations en milieu paysan (Baudron *et al.*, 2012), car ils ne prennent pas suffisamment en compte les conditions dans lesquelles ils vont y être mis en œuvre (milieu paysan). Par ailleurs, la démarche ne permet pas d'analyser les effets d'une adoption de l'AC sur les autres activités à l'échelle de l'exploitation et sur les performances de production recherchées par le producteur pour son exploitation (Corbeels, 2011). Dans notre étude, la démarche que nous proposons se fonde sur des options techniques de système d'AC co-construits et conduits par les agriculteurs sur leurs parcelles, et est combinée à une réflexion sur les modalités d'une insertion de ces options à l'échelle de l'exploitation en s'appuyant sur la modélisation.

## CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

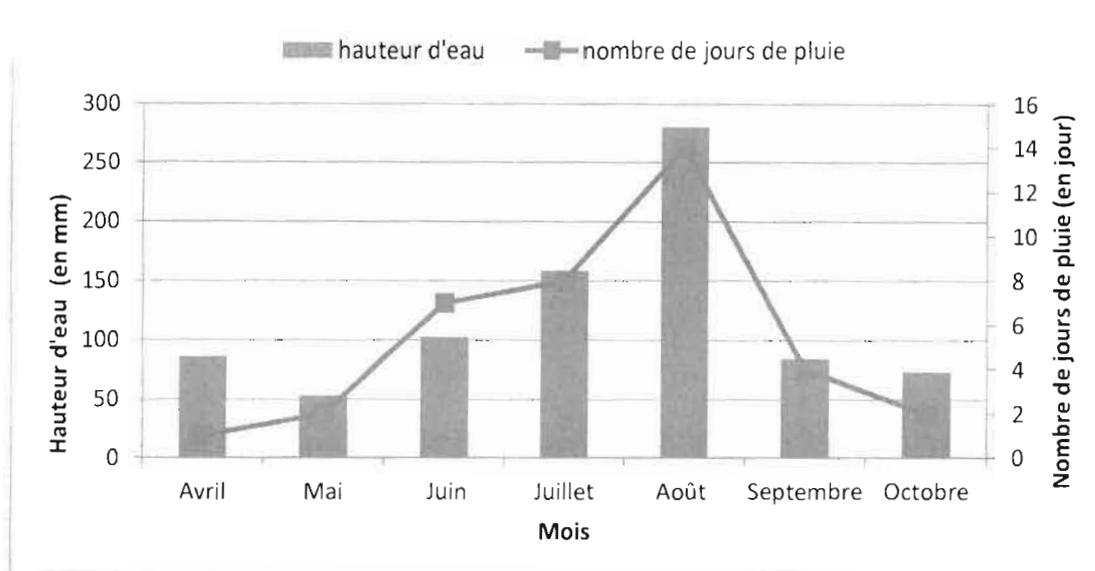
### 2.1. Zone de l'étude

Notre étude fait suite à des activités de recherche sur l'AC, débutées en 2012. Elle a été conduite dans la commune rurale de Koumbia (latitude 12°42'20''Nord, longitude 4°24'01''Est, altitude 290 m), dans la Province du Tuy, située dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. C'est une localité située en zone soudanienne (Figure 1) caractérisée par une saison de pluie uni-modale allant en général de mai à octobre (Figure 2) avec une pluviosité moyenne de 800 mm à 1100 mm; et une saison sèche s'étalant de novembre à avril.



**Figure 1 :** Carte de Koumbia et de Waly (Blanchard, 2005).

Les principaux types de sols observés sont des sols ferrugineux riches en dioxyde de fer et de couleur rouille et des sols bruns eutrophes riches en éléments alcalins (Coulibaly, 2012). Les savoirs locaux distinguent en langue Bwamu 4 principaux types de sols: "*sambia*" (sols de texture caillouteux gravillonnaire en surface), "*hamanifori*" (limono-sableux), "*hamarabri*" (argilo-sableux) et "*manhon*" (argileux), sur lesquels les cultures sont effectuées (Blanchard, 2005).



**Figure 2** : Evolution des hauteurs d'eau et du nombre de jours de pluie au cours de l'hivernage 2013 (suivi du projet ABACO, 2013).

### 2.1.1. Caractéristiques des systèmes de productions

Avec une superficie estimée à 9700 ha, la commune rurale de Koumbia compte environ 9297 habitants (INSD, 2007) composés principalement de Bwaba (autochtones), de Mossi et de Peul (Blanchard, 2005). L'agriculture et l'élevage constituent les bases de l'activité économique et sont réalisés dans des systèmes de production mixtes agriculture-élevage. Le système de culture dominant se caractérise par une rotation coton//maïs. Le coton en tant que culture commerciale sert de pivot aux cultures céréalières (principalement le maïs). Le sorgho rentre dans l'assolement en cas de besoin et sert de culture d'ajustement de la sole (Schaller, 2008). Le mode de préparation dominant du sol est le labour en billons par traction animale et les intrants (engrais, pesticides) sont généralement réservés au coton et au maïs. Le calendrier agricole de la zone se présente comme indiqué au niveau de la figure 3. La caractérisation des pratiques des producteurs en lien avec les principes de l'AC (Ouedraogo, 2012) montre que si certaines pratiques telles que le semis direct, le travail minimum du sol (préparation du sol par scarifiage), la rotation et/ou l'association des céréales avec le niébé sont observées chez certains producteurs, la couverture du sol (avec des résidus de culture ou plantes de couverture) n'est pas une pratique observée.

Les bovins, les ovins, les caprins constituent les principaux animaux d'élevage. Leur alimentation repose sur les pâturages naturels en hivernage et les résidus de culture (vaine pâture et stock de fourrage) en saison sèche.

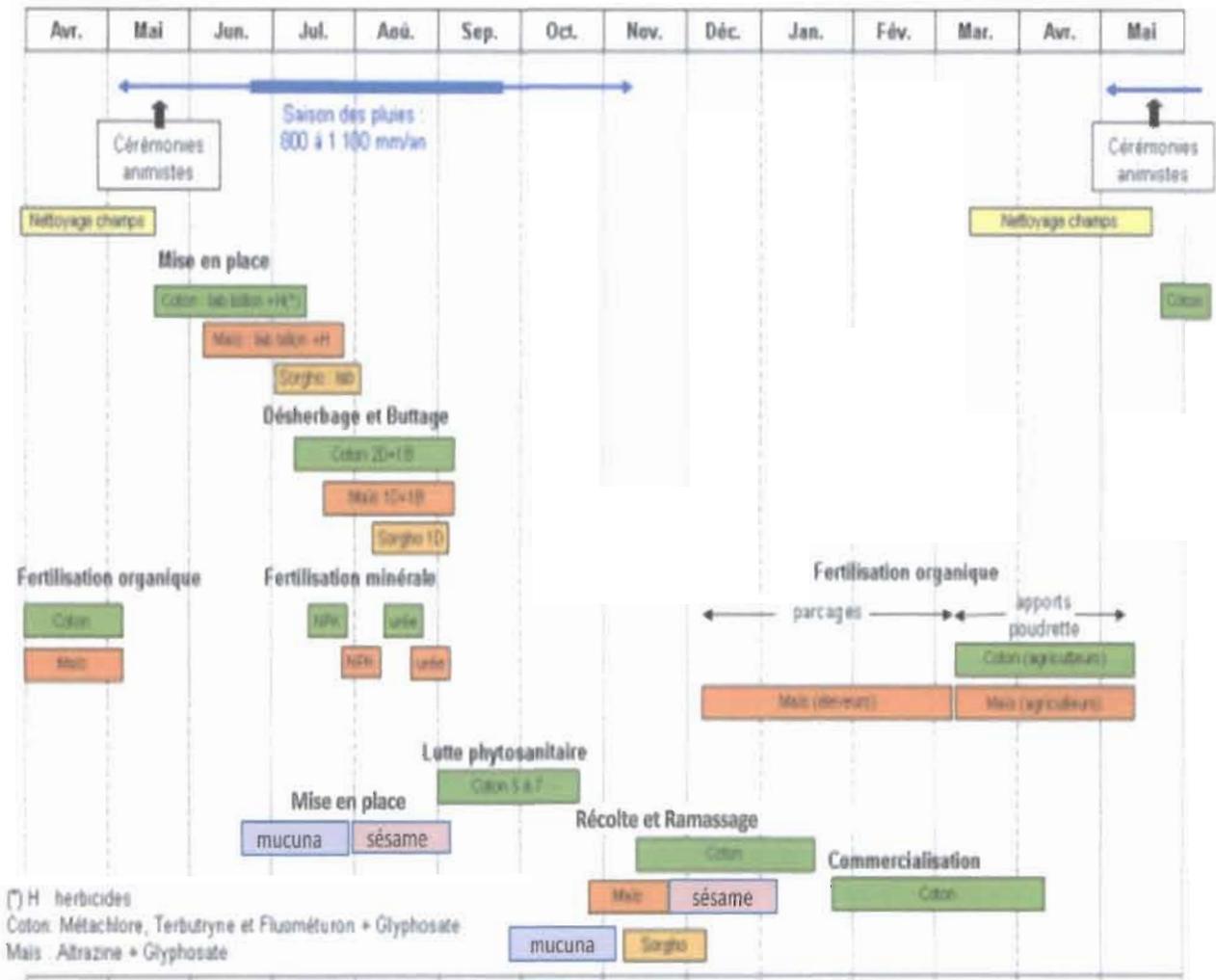


Figure 3 : Calendrier agricole simplifié de Koumbia, adapté de Vall (2004).

Neuf (9) types d'exploitation agricole ont été catégorisés à Koumbia par Blanchard (2005). Les principales caractéristiques de ces unités de production sont présentées dans le tableau I.

**Tableau I :** Principales caractéristiques des 9 types d'unités de production identifiées à Koumbia (Blanchard, 2005).

Type	A1	A2	A3	A4	AE1	AE2	E1	E2	E3	Moyenne
	Petits Agriculteurs sans traction animale	Petits Agriculteurs Equipés	Agriculteurs Moyens	Grands Agriculteurs en voie de diversification	Petits Agro- éleveurs	Grands Agro- éleveurs	Grands éleveurs peulhs	Eleveurs Peulhs moyens	Petits éleveurs peulhs	
<b>UNITE DE PRODUCTION</b>										
Ménages (u)	2	2	2	2	2	9	3	1	2	3
Bouche à nourrir (u)	7	8	13	17	21	59	25	8	9	19
Actif (u)	4	5	6	9	8	39	13	3	4	10
<b>MATERIEL AGRICOLE</b>										
Charrue (u)	1	1	2	2	1	4	1	1	0	1
Moyen de transport (u)	0	1	1	1	1	4	1	0	0	1
Tracteur (u)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>AGRICULTURE</b>										
Sf Totale Cultivée STC (ha)	3,2	6,3	9,8	13,8	7,5	34,4	3,3	3,0	1,8	8,6
Sole de Coton (%)	55 %	52 %	54 %	56 %	42 %	63 %	18 %	0 %	0 %	51 %
Sole de Maïs (%)	23 %	30 %	37 %	31 %	33 %	33 %	76 %	50 %	57 %	37 %
Sole de Sorgho (%)	20 %	11 %	7 %	9 %	18 %	3 %	0 %	17 %	43 %	8 %
Sole d'Arachide (%)	0 %	2 %	1 %	4 %	3 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %
Sole de Niébé (%)	2 %	3 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %
Culture secondaire (%)	21 %	17 %	8 %	13 %	25 %	4 %	6 %	50 %	43 %	12 %
STC/actif (ha)	0,8	1,4	1,7	1,6	1,0	1,0	0,3	1,2	0,5	1,0
STC/BdT (ha)	-	2,9	3,2	2,4	2,0	3,5	1,9	1,5	0,8	2,5
<b>ELEVAGE</b>										
Bovins femelles (UBT)	0	0	1	4	15	15	63	28	14	18
Bovins mâles (UBT)	0	0	3	5	10	12	47	14	4	12
Bœufs de trait BdT (UBT)	0	2	3	7	4	10	2	2	1	3
Ovins (u)	0	0	1	5	4	19	10	3	1	5
Caprins (u)	0	3	0	0	8	5	12	11	2	5

u = unité ; UBT = unité de bovin tropical ; BdT= Bœuf de trait ; Sf = surface

## **2.2. Méthodologie**

Notre démarche de recherche a été structurée en deux niveaux : (i) réaliser des expérimentations chez et par les paysans (Coulibaly, 2012) de système d'AC élaboré avec eux afin de tenir compte des contraintes observées en milieu paysan ; (ii) explorer avec les producteurs à l'aide d'un modèle de simulation, les modalités d'insertion des systèmes d'AC expérimentés.

### **2.2.1. Expérimentation en milieu paysan**

Le système d'AC qui a été expérimenté dans la cadre de cette étude est le résultat d'un processus participatif démarré en 2012. La démarche d'élaboration du système d'AC s'est articulée autour d'une plateforme d'innovation dénommée comité de concertation villageois (CCV) (Coulibaly, 2012 ; Dabiré *et al.*, 2013), servant de cadre de discussion et d'échange entre acteurs (équipe du projet, producteurs et service d'encadrement technique) sur les problèmes agropastoraux. Ainsi, le processus de conception et d'expérimentation du système d'AC peut se résumer en 3 étapes.

#### **Etape 1**

Lors d'un atelier de conception regroupant l'équipe de recherche et des représentants du CCV, un panel de système d'AC combinant des propositions de cultures principales (représentatif des principales cultures de la zone), de plantes de couverture permettant de répondre à différents objectifs/orientations (amélioration de fertilité, alimentation humaine, production de fourrage), de modalité d'insertion de la plante de couverture (en association, en relais, en rotation), de mode de préparation du sol (semis direct, scarifiage) et de niveau de couverture du sol ont été proposés.

#### **Etape 2**

Cette étape a consisté à présenter lors d'un atelier de co-conception regroupant l'équipe du projet, les membres du CCV, les producteurs expérimentateurs (choisis par le CCV) et des agents du service d'encadrement, les systèmes d'AC élaborés en étape 1. A l'issue des échanges sur les avantages, les contraintes et l'intérêt accordé aux différentes propositions, le système d'AC jugé convenable a été retenu.

#### **Etape 3**

Sur la base du système d'AC retenu, un dispositif expérimental et un itinéraire technique ont été proposés par l'équipe de recherche et amendés par les producteurs à l'issue d'une session

de concertation. Ainsi, un cahier de charges mentionnant les engagements des producteurs et de l'équipe du projet pour la conduite de l'essai a été élaboré et mis à la disposition des acteurs.

Pour les essais de 2012, la culture qui avait été privilégiée était le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), deuxième céréale de la zone dont la paille se conserve mieux en saison sèche. Comme culture à associer au sorgho, le pois d'angole (*Cajanus cajan* (L.)), légumineuse à double usage (alimentation humaine et production importante de fourrage) et rustique face à la défoliation des animaux a suscité de l'intérêt et avait été retenu. Cependant, bien que le pois d'angole ait montré une production satisfaisante de fourrage et une bonne régénération en début d'hivernage 2013, il n'a pas été apprécié par les producteurs ni en tant qu'aliment, ni en tant que fourrage. Ainsi, pour la saison 2013, c'est le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), principale légumineuse cultivée comme culture associée et traditionnellement consommée qui a été préféré au pois d'angole. Dans le souci d'assurer une bonne couverture du sol et une bonne production de biomasse, c'est le niébé fourrager qui a été retenu. Aussi, le maïs (*Zea mays* L.), première céréale cultivée de la zone a été proposée par les producteurs comme culture principale à associer au niébé. Les variétés SR21 de maïs et K VX 771 de niébé ont été celles mises en place. Le tableau II décrit les traitements qui ont été mis en place l'année précédente (en 2012) et ceux réalisés dans notre étude.

**Tableau II** : Description des traitements mis en œuvre en 2012 et ceux réalisés dans notre étude en 2013.

Système d'agriculture	Hivernage 2012	Saison sèche	Hivernage 2013	
	Traitement	Gestion des résidus	Traitement	Quantité de la biomasse pour la couverture
Pratique Conventionnelle (Conv)	Labour + Sorgho + NPK (Conv)	Pas de conservation des résidus : ramassage et vaine pâture	Labour + maïs + engrais (Conv)	Pas de couverture du sol
Option d'AC	Semis direct + sorgho-pois d'angole + NPK (AC)	Mode de conservation des résidus au champ : M1 ou M2	Semis direct par traction animale + maïs-niébé + couverture du sol + engrais (AC)	Quantité de résidus présente sur la parcelle + quantité de résidus issus d'autres parcelles en fonction de la capacité de transport du producteur

M1 : couper la partie supérieure des tiges (1/2 de la hauteur, la plus appréciée) et laisser la partie inférieure (1/2 de la hauteur) sur pied au champ.

M2 : rabattre les tiges pour couvrir le sol durant toute la saison sèche.

Engrais : NPK et Urée

Les quantités de biomasses mesurées au moment du semis des parcelles ont été en moyenne de  $4 \pm 2,27$  t/ha. Ces biomasses étaient constituées des résidus de cultures de l'année précédente restés sur les parcelles et des apports supplémentaires divers selon les capacités et les stratégies des expérimentateurs. La biomasse était composée de résidus de céréales (maïs, sorgho), de feuillage d'arbre, de tiges de pois d'angole et/ou de paille de brousse, dans des proportions différentes selon les expérimentateurs. Quatorze expérimentateurs volontaires ayant effectué les essais en 2012 se sont portés volontaires pour l'expérimentation. Deux des expérimentateurs sont des groupements de femmes peuls et les douze autres des exploitations familiales. Neuf des expérimentateurs ont réalisé l'expérimentation sur les parcelles de 2012, constituant ainsi leur deuxième année d'expérimentation d'AC sur la même parcelle, et cinq expérimentateurs ont changé de parcelles (1<sup>ère</sup> année d'expérimentation d'AC sur les parcelles). La parcelle de chaque expérimentateur constitue un bloc divisé en quatre parcelles élémentaires ou traitements de 625 m<sup>2</sup>, disposées de manière contiguë (Figure 4).



**Tableau III** : L'itinéraire technique retenu à l'issue de la troisième étape de conception, pour être appliqué sur les parcelles.

Opération culturale	Système conventionnel (Conv)		Système d'agriculture de conservation (AC)	
	Conv J0	Conv J15	AC J0	AC J15
Couverture du sol	Non	Non	Oui, reste de résidus de l'année précédente + apports divers de biomasse	
Préparation du sol	Labour en billon	Labour en billon	Appliquer du glyphosate, 1440 g.m.a/ha	
Semis du maïs	Manuel à la houe, écartement de 80 cm x 40 cm		Attelé avec le semoir épandeur Fitarelli <sup>®</sup> , écartement de 80 cm x 40 cm	
Semis du niébé	Non	Non	Manuel à la houe dans les inter-rangs du maïs 15 JAS, 40 cm d'inter-poquet	
Engrais NPK (15 15 15)	120 kg/ha, manuellement juste après le semis du maïs	120 kg/ha, manuellement 15 JAS	120 kg/ha, simultanément pendant le semis du maïs avec le semoir épandeur Fitarelli <sup>®</sup>	120 kg/ha, manuellement 15 JAS
Gestion de l'enherbement	Sarclage à la houe manga, suivi d'un désherbage manuel 15 à 20 JAS et buttage 40 à 45 JAS		Désherbage manuel 15 à 20 JAS et 40 à 45 JAS	
Urée (46%)	50 kg/ha, manuellement 40 à 45 JAS		50 kg/ha, manuellement 40 à 45 JAS	
Récolte	Epis de maïs	Epis de maïs	Epis de maïs, fane et gousse de niébé	

JAS : jours après semis (après semis du maïs)

g.m.a : gramme de matière active

NB : récolte des épis de maïs et des gousses de niébé à l'état sec

La différence dans la date d'apport de l'engrais NPK (apport au semis ou 15 jours après semis) répondait à l'objectif (i) de montrer aux expérimentateurs, la facilité qu'offre l'outil de semis direct attelé (le semoir épandeur Fitarelli<sup>®</sup>) en permettant simultanément le semis direct et l'apport d'engrais, et (ii) de leur faire percevoir les effets éventuels d'une faim d'azote que peut impliquer la mise œuvre de l'AC.

La dose de 120 kg/ha d'engrais NPK correspond à la dose maximale d'application permise par les disques du semoir mécanique de marque Fitarelli®, et constitue une dose intermédiaire à celle habituellement épanchée par les producteurs (100 à 150 kg/ha). Cependant, autour du 20<sup>ème</sup> jour après semis, il a été observé un jaunissement des feuilles de maïs, caractéristique d'une faim d'azote au niveau du système d'agriculture de conservation. Ce fait était plus marqué sur les parcelles en AC où l'engrais NPK a été apporté 15 jours après semis. Aussi, il a été décidé d'effectuer un apport supplémentaire d'engrais NPK sur le système d'agriculture de conservation pour atteindre la dose de 160 kg/ha.

### **2.2.1.1. Collecte des données d'expérimentation en milieu paysan**

L'agriculture de conservation est généralement reconnue comme offrant un grand potentiel agro-écologique ; notamment en terme de conservation et amélioration du fonctionnement du sol, stabilisation et amélioration des rendements, séquestration du carbone, et remplissage des nappes souterraines (Erenstein, 2003 ; Goddard *et al.*, 2008 ; Hobbs *et al.*, 2008 ; Kassam *et al.*, 2012). Cependant, pour les petites exploitations familiales, les systèmes d'agriculture de conservation sont susceptibles d'être particulièrement attrayants quand ils atténuent à court terme les contraintes de main d'œuvre et celles liées à la croissance des cultures et/ou à la productivité agricole (Giller *et al.*, 2011). Ce sont par exemple les problèmes de stress hydriques ou de fertilité du sol, et de goulots d'étranglement relatif à la gestion des parcelles (Erenstein, 2003). Ainsi, les paramètres qui ont été évalués dans notre étude sont l'enherbement, l'humidité du sol, le rendement en grain de maïs et en biomasse fourragère et les temps de travaux des opérations culturales.

L'enherbement a été mesuré par une appréciation visuelle du pourcentage de sol couvert par les adventices à partir d'une échelle de recouvrement allant de 1-9 (Chouène, 1999 ; Cirad, 2000). Ainsi, autour des 15<sup>ème</sup>, 45<sup>ème</sup> et 60<sup>ème</sup> jours après le semis du maïs, 3 placettes de 20 m<sup>2</sup> chacune ont été placées sur les diagonales de chaque traitement pour déterminer le recouvrement.

Pour chaque traitement, le suivi de l'humidité a porté sur quatre horizons (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm et 60-80 cm) quand la profondeur du sol le permettait. Trois prélèvements d'au moins 200 g de sol ont été effectués sur les diagonales pour constituer un échantillon composite d'au moins 200 g qui a été immédiatement introduit dans un bocal et pesé pour déterminer le poids humide de la terre. Les échantillons ont ensuite été introduits dans une étuve à 105 degrés pendant 24 heures puis retirés et pesés pour déterminer le poids sec de la terre.

Le taux d'humidité a alors été déterminé par la relation suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = \frac{(\text{Pds hum} - \text{Pds récipient}) - (\text{Pds sec} - \text{Pds récipient})}{(\text{Pds sec} - \text{Pds récipient})}$$

Avec Pds hum = poids terre humide ; Pds récipient = poids du récipient ; et Pds sec = poids terre sèche

Les prélèvements de sol ont été effectués chez 4 producteurs (2 producteurs ayant un niveau de couverture sur les parcelles en AC compris entre 3t/ha et 4t/ha, et 2 producteurs ayant un niveau de couverture sur les parcelles en AC compris entre 6t/ha et 8 t/ha) et ce, à 3 dates : le 10 août, le 21 septembre et le 10 octobre. Le mois d'août correspond au mois le plus pluvieux de la saison tandis que les mois de septembre et octobre se caractérisent par une diminution progressive de la pluviosité.

Pour la mesure des rendements, 3 placettes de 12 m<sup>2</sup> (3 m × 4m) chacune ont été placées de façon aléatoire sur les parcelles de chaque traitement pour déterminer les rendements grain et les rendements de biomasse. A l'aide des fiches (Annexe 1), des suivis continuels ont été faits au cours du cycle de développement pour collecter les données sur l'itinéraire technique effectivement réalisé par les producteurs, et les temps de travaux des opérations culturales.

### **2.2.1.2. Analyse des données des expérimentations**

L'expérimentation en milieu réel chez et par les paysans est source de variation dans la mise en œuvre des traitements qui peut être liée à des contraintes ou à des stratégies des paysans-expérimentateurs (Coulibaly, 2012). En raison de cette éventuelle variabilité, l'analyse des données a été effectuée en deux étapes.

D'abord, à partir d'analyse multifactorielle (analyse des correspondances multiples suivie d'une classification ascendante hiérarchique), à l'aide du logiciel XLSTAT, nous avons regroupé les producteurs en fonction des pratiques de gestion du système d'agriculture de conservation observée au cours de l'expérimentation. Notre objectif était d'identifier la diversité de gestion (les différentes modalités de mise en œuvre) du système d'agriculture de conservation entre les producteurs. Ce sont les éléments de différence notable observés dans la mise en œuvre du traitement en AC (niveau de couverture, respect de l'itinéraire technique tels que la densité du maïs et du niébé, la dose et la période d'apport d'engrais, l'écart de date de semis entre le maïs et le niébé, la nature et la dose de traitements herbicides, la date et le nombre de désherbages, etc.) qui ont été utilisés comme variables actives (Tableau IV) pour la réalisation de l'analyse des correspondances multiples.

**Tableau IV** : Variables actives utilisées pour l'analyse des correspondances multiples.

Variables	Modalités	Codes
Nombre d'années d'expérimentation en AC sur la parcelle	Première année	1an
	Deuxième année	2an
Quantité de biomasse (en t/ha)	Pas de biomasse	0.bmass
	$2 \leq \text{quantité} \leq 3$	bmass[2 3]
	$3 < \text{quantité} \leq 4$	bmass]3 4]
	$4 < \text{quantité} \leq 6$	bmass]4 6]
	quantité > 6	bmass>6
Dose totale de matière active d'herbicide total (glyphosate) en g.m.a /ha	$360 \leq m.a \leq 720$	Tot[360 720]AC
	$720 < m.a \leq 1080$	Tot]720 1080 ]AC
	$1080 < m.a \leq 1440$	Tot]1080 1440]AC
	$1800 < m.a \leq 2520$	Tot]1800 2340]AC
Ecart de semis entre traitement AC et traitement conventionnel (en jours)	$\pm 0$ à 7	semC-AC [0-7 $\pm$ ]
	15 à 21	semC-AC [15-21]
Ecart entre semis et ressemis du maïs en traitement AC (en jours)	0 à 7	ResemAC $\leq$ 7
	8 à 14	ResemAC [8-14]
	15 à 21	ResemAC [15-21]
	supérieur 24	ResemAC [22-28]
Ecart entre semis maïs et semis niébé (en jours)	pas de ressemis	PasResemAC
	15 à 22	semNieb-AC [15-22]
	23 à 29	semNieb-AC [23-29]
Période d'application d'herbicide post-levée sélectif	30 à 36	semNieb-AC [30-36]
	$15 \pm 7$ jours de la date de semis	TpsSelectAC[15 $\pm$ 7]
	herbicide sélectif non appliqué	NeantSelecAC
Période de réalisation du premier sarclage manuel (en jours après semis)	15 à 22	Sarc1AC[15 22]
	30 à 36	Sarc1AC[30 36]
	44 à 50	Sarc1AC[44 50]
	Pas de premier désherbage manuel	pasSarc1AC
Dose totale d'engrais NPK sur le traitement AC J0 (en kg/ha)	$\leq 120$	TotNPK <sub>0JasAC</sub> $\leq 120$
	160	TotNPK <sub>0JasAC</sub> 160
	$\geq 200$	TotNPK <sub>0JasAC</sub> $\geq 200$

**Tableau IV : (suite)**

<b>Variabiles</b>	<b>Modalités</b>	<b>Codes</b>
Dose totale d'engrais NPK sur le traitement AC J15 (en kg/ha)	≤120	TotNPK <sub>15JasAC</sub> ≤120
	160	TotNPK <sub>15JasAC</sub> 160
	≥200	TotNPK <sub>15JasAC</sub> ≥200
Période de réalisation du deuxième sarclage manuel (en jours après semis)	40 ±7	Sarc2AC[40±7]
	54 à 60	Sarc2AC[54 60]
	plus de 60	Sarc2AC>60
	Deuxième désherbage non réalisé	pasSarc2AC
Période d'application de l'urée (en jours)	40 ±5	sem-uréAC[40±5]
	46 à 50	sem-uréAC[46 50]
	51 à 55	sem-uréAC[51 55]
	56 à 60	sem-uréAC[56 60]
Densité moyenne de maïs (nombre de pieds/ha)	25000 ≤densité ≤ 35000	maïsAC[25M 35M]
	35000 <densité ≤ 45000	maïsAC[35M 45M]
Densité moyenne de niébé (nombre de pieds/ha)	20000 <densité ≤ 30000	niéb]20M 30M]
	30000 <densité ≤ 40000	niéb]30M 40M]
	40000 < densité ≤ 50000	niéb]40M 50M]

Ensuite, pour chaque groupe obtenu par l'analyse factorielle, une analyse de variance (ANOVA) au seuil de 5% a été réalisée pour : (i) comparer les traitements élémentaires (AC J0 et AC J15, Conv J0 et Conv J15) en terme de rendement en grain et en paille de maïs et de temps de travail total, et (ii) comparer le système d'agriculture de conservation (AC) et le système conventionnel (Conv) en termes de temps de désherbage (temps de sarclage manuel et/ou de désherbage chimique et éventuellement de buttage). Le test de Newman Keuls a été utilisé pour la séparation des moyennes. Dans notre expérimentation, les apports et l'épandage de la biomasse pour la couverture du sol par les producteurs ont été progressifs sur des périodes relativement longues (mi-mai à début juillet). Ces temps de travaux n'ont donc pas pu être fournis par les producteurs. Le temps de travail total n'inclut donc pas le temps d'apport et d'épandage de biomasse pour la couverture du sol. Aussi, seuls les temps de travaux des opérations auxquelles les producteurs sont particulièrement sensibles (opérations allant de la mise en place des cultures à la fin des opérations d'entretien) ont été considérés ; les temps de travaux de récolte n'ont pas été pris en compte dans le temps de travail total.

Comme variables supplémentaires, des variables de structure (superficie cultivée, taille de la famille, superficie cultivée par actif, nombre de bœufs de trait) susceptibles d'influer sur les modes de gestion, le rendement en grain de maïs comme résultat des modes de gestion et la

variable concernant la nature et la dose de matière active d'herbicide de post-levée sélectif appliqué (variable tendant à perturber le regroupement de producteurs ayant effectué des itinéraires techniques semblables) (Tableau V) ont été utilisés pour l'analyse des correspondances multiples.

**Tableau V** : Variables supplémentaires utilisées pour l'analyse des correspondances multiples.

<b>Variabiles</b>	<b>Modalités</b>	<b>Codes</b>
Nature et dose de matière active d'herbicide de post-levée sélectif (en g.m.a/ha)	Pas herbicide post-levée sélectif 60 à 120 g de Nicosulfuron au moins 860 g de 2,4-D	0selecAC selecSulf[60-120]AC selecDAmin≥860AC
Rendement grain de maïs du traitement AC J0 (apport NPK au semis) en kg/ha	Rendement <1000	Rdt <sub>0JAS</sub> <1000
	1000 ≤ rendement ≤ 1500	Rdt <sub>0JAS</sub> [1M 1.5M]
	1500 < rendement ≤ 2000	Rdt <sub>0JAS</sub> ]1.5M 2M]
	2000 < rendement ≤ 2500	Rdt <sub>0JAS</sub> ]2M 2.5M]
Rendement grain de maïs du traitement AC J15 (apport NPK 15 JAS) en kg/ha	Rendement <1000	Rdt <sub>15JAS</sub> <1000
	1000 ≤ rendement ≤ 1500	Rdt <sub>15JAS</sub> [1M 1.5M]
	1500 < rendement ≤ 2000	Rdt <sub>15JAS</sub> ]1.5M 2M]
	2000 < rendement ≤ 2500	Rdt <sub>15JAS</sub> ]2M 2.5M]
Taille de la famille (en nombre de personnes)	Moins de 8	Nbp<8
	8 à 16	Nbp8-16
	17 à 24	Nbp17-24
	Néant (expérimentation réalisée par un groupement femme peul)	neantNbp
Nombre d'actifs (en nombre de personnes)	3 à 6	Nba3-6
	7 à 10	Nba7-10
	Néant (expérimentation réalisée par un groupement femme peul)	neantNba
Superficie cultivée en ha	1 ≤ superficie cultivée ≤ 5	sup[1 5]
	5 < superficie cultivée ≤ 10	Sup]5 10]
	10 < superficie cultivée ≤ 15	sup]10 15]
	Néant (non-propiétaire de parcelle)	neantSup
Nombre de bœufs de trait (BdT)	2 à 3	BdT[2 3]
	4 à 5	BdT[4 5]
	pas de bœuf	neantBdT
Ratio superficie cultivée par actif (en ha)	Néant (non-propiétaire de parcelle)	neantSTCa
	0,5 ≤ STCa ≤ 1	STCa[0,5 1]
	1 < STCa ≤ 1,5	STCa]1 1,5]
	1,5 < STCa ≤ 2	STCa]1,5 2]

Pour chaque groupe de producteurs identifié par l'analyse factorielle, le pourcentage moyen du sol recouvert par les adventices a été calculé pour le système conventionnel et le système d'AC à chaque date de mesure (autour des 15<sup>ème</sup>, 45<sup>ème</sup> et 60<sup>ème</sup> jours après le semis). Aussi, des profils hydriques du sol ont été construits pour les deux niveaux de biomasse auxquels les mesures d'humidités ont été effectuées.

## **2.2.2. Exploration des conditions d'insertion du système d'AC à l'échelle de l'exploitation**

### **2.2.2.1. Choix du modèle de simulation**

Pour définir avec les producteurs des modalités d'insertion du système d'AC expérimenté au sein de l'exploitation, c'est le modèle *Cikéda* qui a été utilisé pour soutenir et orienter les discussions.

C'est un modèle développé en 2008 sur la base de l'analyse du fonctionnement et des principales orientations stratégiques des exploitations de Koumbia (Schaller, 2008 ; Andrieu *et al.*, 2012). Il a ensuite été adapté pour simuler l'effet de l'introduction de systèmes d'agriculture de conservation (Ouedraogo, 2012). C'est un outil pouvant être utilisé dans des démarches de co-conception avec les acteurs (Sempore *et al.*, 2011 ; Andrieu *et al.*, 2012). Il permet de simuler les performances technico-économiques d'une exploitation de polyculture élevage à l'échelle d'une année divisée en 3 périodes : période d'hivernage (mai à octobre), période de la saison sèche froide (novembre à février) et période de la saison sèche chaude (mars à avril). Les performances sont évaluées à travers différents bilans évaluant l'adéquation entre l'offre et la demande de ressources à l'échelle de l'exploitation. Ces bilans sont : le bilan céréalier, le solde économique, le bilan fourrager, le bilan minéral et la charge de travail de l'exploitation.

Le bilan céréalier traduit la capacité de l'exploitation à assurer la sécurité alimentaire. Il correspond à la somme des productions céréalières (maïs, sorgho et mil) diminuée des besoins céréaliers de l'exploitation.

Le solde économique évalue la capacité de l'exploitation à générer des revenus monétaires pour faire face aux besoins socio-économiques et éventuellement constituer un capital. Il correspond à la somme des valeurs des productions (du système de culture et d'élevage de l'exploitation) diminuées des valeurs de l'autoconsommation familiale, des réserves familiales et des charges opérationnelles (du système de culture et d'élevage).

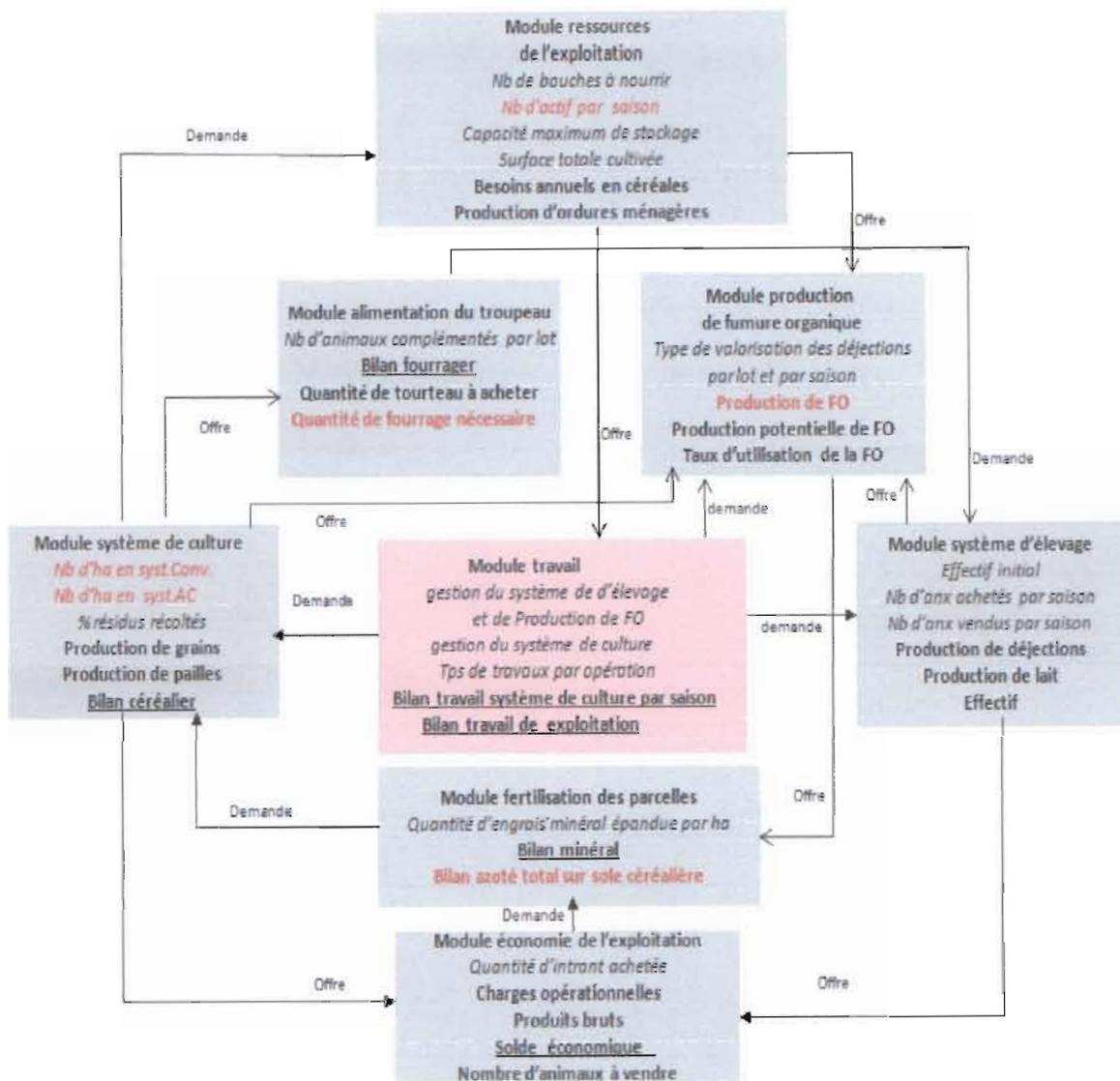
Le bilan fourrager traduit la capacité de l'exploitation à couvrir les besoins fourragers du troupeau durant la période de soudure (saison sèche chaude) en fonction des objectifs de

performances zootechniques fixés par le producteur. Il représente l'offre fourragère (en unité fourragère et en matière azotée digestible) de l'exploitation diminuée des besoins fourragers (en unité fourragère et en matière azotée digestible) des animaux alimentés en saison sèche chaude avec le stock de fourrage effectué.

Les bilans minéraux (N, P et K) des parcelles représentent les sommes des apports en fertilisants minéraux, organiques et des apports des légumineuses sur les parcelles diminuées des exportations des cultures (exportations des grains et des pailles). Il évalue la capacité à maintenir la fertilité des sols à moyen terme.

La charge de travail de l'exploitation évalue la possibilité des actifs de l'exploitation à assurer : (i) le travail nécessaire lié aux activités de culture (charge de travail du système de culture) ; (ii) le travail nécessaire lié aux activités d'élevage et de production de fumure organique (FO). Les charges de travaux sont calculées pour chaque période de l'année (hivernage, saison sèche chaude, saison sèche froide). La charge de travail sur le système de culture représente la somme des charges de travaux des différentes opérations sur le système de culture pour chaque période. En hivernage, la charge de travail du système de culture est considérée comme correspondant aux charges des travaux des opérations de nettoyage des parcelles, de préparation du sol, de semis, de traitement herbicide, de désherbage, de fertilisation et de traitement insecticide ; cela bien que certaines cultures telles que le niébé, l'arachide, le maïs ou le mucuna peuvent être récoltées pendant cette période. En saison sèche froide, il est considéré que les charges de travaux résultent des opérations de récolte des cultures, de récolte de fanes de légumineuses, de ramassage de la paille et de transport des récoltes et du fourrage (paille et fane) des champs vers les concessions. La charge de travail du système de culture en saison sèche chaude est considérée comme constituée du transport et de l'épandage de la FO au niveau des parcelles. Concernant la charge en travail relative au système d'élevage, il est considéré que la charge de travail à chaque période est égale au nombre de jours de la période multiplié par le nombre de bergers affectés à la conduite des animaux. La charge de travail de production de FO organique se compose des charges des travaux liées à la production de compost, de fumier et de déjection de parc. Elles sont calculées pour toute l'année, car la production de FO ne s'inscrit pas dans une période précise de l'année.

La figure 5 présente les huit (8) modules du modèle *Cikeda*.



Nb : nombre ; systConv : système de culture conventionnel ; SystAC : système d'agriculture de conservation ; anx : animaux Tps : temps ; FO : fumure organique. En italique : les variables d'entrées à renseigner par l'utilisateur ; En gras : les variables de sorties calculées par le modèle ; En souligné : les principaux bilans calculés par le modèle ; En rouge sont indiquées les principales adaptations réalisées sur le modèle pour tenir compte de l'AC.

**Figure 5 :** Modèle conceptuel de *Cikeda* adapté pour tenir compte de l'AC (Ouedraogo, 2012).

### 2.2.2.2. Démarche d'utilisation du modèle *Cikeda* avec les producteurs pour analyser les conditions d'insertion de l'AC à l'échelle de l'exploitation

Les nombreux travaux d'AC menés en zone subsaharienne se focalisent sur les aspects techniques et agronomiques à l'échelle de la parcelle, laissant peu de place aux aspects socio-économiques (Djamen *et al.*, 2005), surtout à des échelles dépassant la parcelle. Par ailleurs, de

nombreux auteurs (Sissoko et Autfray, 2008 ; Rakotondramanana *et al.*, 2010; Corbeels, 2011; Thierfelder et Wall, 2012) rapportent que les bénéfices de l'AC ne deviennent généralement significatifs par rapport au système conventionnel qu'après plusieurs saisons, et que le rendement peut même diminuer durant les premières années (Lai *et al.*, 2012 ; Corbeels *et al.*, 2014), surtout quand la gestion du système d'AC n'est pas encore maîtrisée par les agriculteurs. Cet état de fait est de nature à perturber les équilibres à l'échelle de l'exploitation (solde économique, production d'aliment et/ou de fourrage, charge de travail, etc.), et décourager ou rendre difficile l'adoption de systèmes d'AC. L'enjeu ici est de définir avec les producteurs, les ajustements nécessaires à l'échelle de l'exploitation (l'arbitrage pour l'affectation des ressources et des moyens entre l'AC et les autres activités de l'exploitation) pour favoriser l'insertion de l'AC en vue de permettre son adoption. La démarche a consisté en trois séances de dialogue individuel avec quatre producteurs expérimentateurs à l'aide d'une fiche de discussion (Annexe 2). Le choix a porté sur des producteurs présentant une facilité à expliciter le fonctionnement de leur exploitation.

La première séance visait à collecter les données de structure et de fonctionnement de l'exploitation ; permettant de simuler un scénario de base (S0) correspondant à la situation initiale de l'exploitation sans l'insertion de l'AC ainsi que les données concernant la surface envisageable en AC par le producteur afin de simuler des scénarios après insertion de l'AC selon les différents modes de conduite identifiés lors de l'analyse factorielle (S1 et S2). Elle a débuté en une prise de connaissance de l'objectif et de la stratégie du producteur dans la gestion de son exploitation et à une présentation des résultats de l'expérimentation (itinéraire technique mis en œuvre, temps de travail des opérations, rendement en grain et en paille de maïs, fane de niébé) pour chaque groupe identifié à l'issue de l'analyse factorielle. Suite à cela, des discussions ont été menées avec le producteur sur les avantages et les contraintes que présentent les itinéraires techniques réalisés par les groupes identifiés par l'analyse factorielle, dans la gestion d'une parcelle (flexibilité dans la conduite de tels itinéraires techniques) et dans la gestion de l'exploitation (interaction avec la gestion des autres parcelles de l'exploitation). Il a ensuite été discuté avec le producteur de la superficie en AC potentiellement envisageable sur sa sole de maïs au vu des avantages et des contraintes susmentionnées. La séance s'est terminée par la collecte des variables de structure et de fonctionnement initial de l'exploitation.

La deuxième séance a fait en premier lieu l'objet d'une présentation des résultats de simulation pour le scénario S0 suivi d'une discussion en comparant les sorties simulées avec celles effectivement observées par le producteur, cela pour des besoins d'ajustement des paramètres

(calibrage) du modèle. Ensuite, les résultats de simulations des scénarios avec insertion de l'AC sur X% (valeur précédemment définie avec le producteur en 1<sup>ère</sup> séance) de la sole de maïs ont été présentés au producteur. Des échanges ont alors été menés avec le producteur sur les résultats du scénario S0 comparés aux scénarios d'insertion de l'AC sur son exploitation (S1 et S2). Cette discussion a eu pour but de susciter avec le producteur une réflexion sur l'organisation de son système de production (assolement, gestion de l'élevage, organisation de la main d'œuvre, etc.) nécessaire pour favoriser une insertion du système AC dans son exploitation, et a abouti à la proposition par le producteur d'un scénario S3 incluant ces ajustements.

Durant la troisième séance, les résultats de ce dernier scénario (S3) ont été présentés avec la possibilité de pouvoir encore le réajuster.

## CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1. Résultats

#### 3.1.1. Identification de la diversité de gestion du système d'AC

##### 3.1.1.1. Interprétation des axes factoriels

Pour l'interprétation de l'analyse factorielle, les trois premiers axes ont été retenus. Le premier axe explique 22,95 % de l'inertie, le deuxième axe 17,77 % et le troisième 16,45 %, soit un total de 57,17 % d'inertie porté par ces trois axes.

De la figure 6 formée par le plan (1,2), on constate que l'axe F1 met en exergue les producteurs ayant opté uniquement pour le désherbage manuel comme moyen de lutte contre les mauvaises herbes pendant l'entretien des cultures, et les discriminent selon le nombre de désherbages effectués, la dose d'herbicide total appliquée avant semis et le nombre d'années d'expérimentation de système d'AC sur leur parcelle.

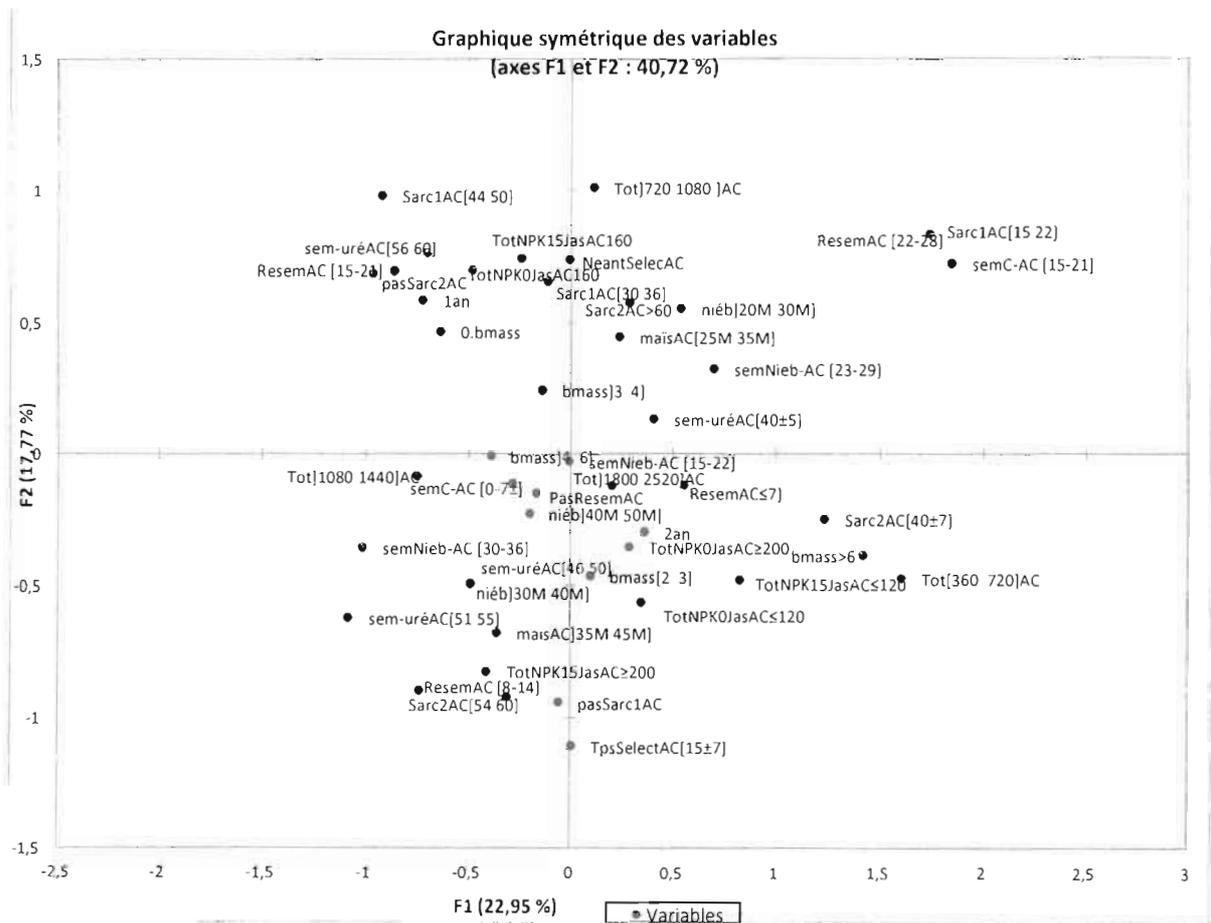


Figure 6 : Représentation des modalités des variables actives dans le plan factoriel (1,2).

Du côté négatif de l'axe, ce sont les producteurs ayant effectué un premier sarclage manuel entre 44 et 50 jours (Sarc1AC[44 50]) et n'ayant pas réalisé de deuxième désherbage (pasSarc2AC). Ils sont à la première année d'expérimentation du système d'AC sur leurs parcelles (1an), ont appliqué des doses moyennes d'herbicide total avant semis (Tot]1080 1440]AC) et le cas échéant, ont effectué des ressemis entre le quinzième et le vingt unième jours après semis (ResemAC [15 21]). Du côté positif, ce sont les producteurs ayant réalisé un premier sarclage manuel entre 15 et 22 jours (Sarc1AC[15 22]) et un deuxième sarclage autour de  $40 \pm 7$  jours (Sarc2AC[40 $\pm$ 7]). Ces producteurs sont à la deuxième année d'expérimentation du système d'AC sur leur parcelle (2an), ont appliqué les plus faibles doses d'herbicide total avant semis (Tot[360 720]AC) et effectué de manière plus tardive des ressemis (ResemAC [22-28]).

Concernant l'axe F2, il discrimine les producteurs selon l'option de maîtrise des mauvaises herbes (désherbage manuel ou chimique) adoptée, selon les densités des cultures (maïs et niébé) mises en place et aussi suivant les différences qui existent entre la dose d'engrais NPK appliquée au traitement AC J0 et au traitement AC J15. Du côté négatif de l'axe, ce sont les producteurs ayant réalisé un traitement d'herbicide de post-levée sélectif en guise de premier désherbage, cela 15 à 22 jours après semis (TpsSelectAC[15 $\pm$ 7], pasSarc1AC), puis effectué un sarclage manuel à 54 à 60 jours après semis (Sarc2AC[54 60]). Les densités de population de maïs de ces producteurs ont été de 35 000 à 45 000 pieds/ha (maïsAC]35M 45M]) et les densités de niébé de 30 000 à 40 000 pieds/ha (niéb]30M 40M]). Ils ont appliqué des doses d'engrais NPK différentes entre le traitement AC J0 et le traitement AC J15 (TotNPK<sub>0JasAC</sub>≤120, TotNPK<sub>15JasAC</sub>≥200). Du côté positif, ce sont les producteurs ayant appliqué des doses relativement faibles d'herbicide total avant semis (Tot]720 1080 ]AC) et réalisé uniquement des désherbages manuels pour l'entretien des cultures (NeantSelecAC) ; notamment un premier sarclage manuel à 15 à 22 jours après semis, 30 à 36 jours après semis ou 44 à 50 jours après semis (Sarc1AC[15 22], Sarc1AC[30 36], Sarc1AC[44 50]), suivi ou non (Sarc2AC>60, pasSarc2AC) d'un deuxième sarclage manuel. Les densités de population de maïs pour ces producteurs ont été de 25 000 à 30 000 pieds/ha et les densités de niébé de 20 000 à 40 000 pieds/ha (maïsAC]25M 35M], niéb]20M 30M]). Ils ont appliqué des doses similaires d'engrais NPK entre le traitement AC J0 et le traitement AC J15 (TotNPK<sub>15JasAC</sub>160, TotNPK<sub>0JasAC</sub>160).

Sur le plan (1,3) (Figure 7), l'axe F3 ne permet pas d'observer une opposition franche, mais le trait dominant est qu'il tend à discriminer du côté négatif les producteurs ayant épandu une

quantité de biomasses de 3 t à 4 t/ha ou 4 t à 6 t/ha (bmass]3 4], bmass]4 6]) et obtenu des densités de niébé de 30 000 à 40 000 pieds/ha (niéb]30M 40M]). Du côté positif, ce sont les producteurs ayant épandu une quantité de biomasses de 2 t à 3 t/ha (bmass[2 3]) et obtenu des densités de niébé de 40 000 à 50 000 pieds/ha (niéb]40M 50M]).

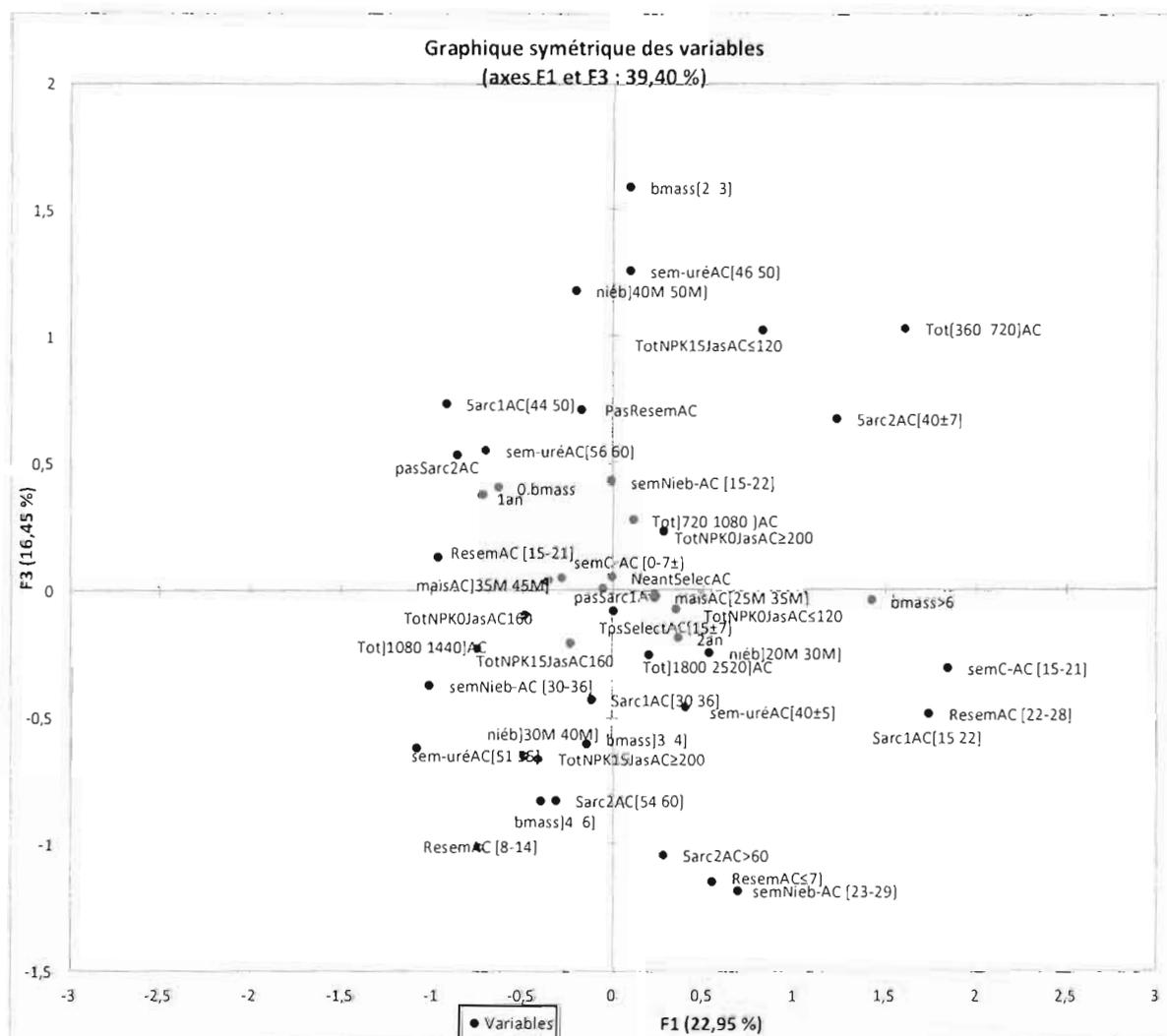
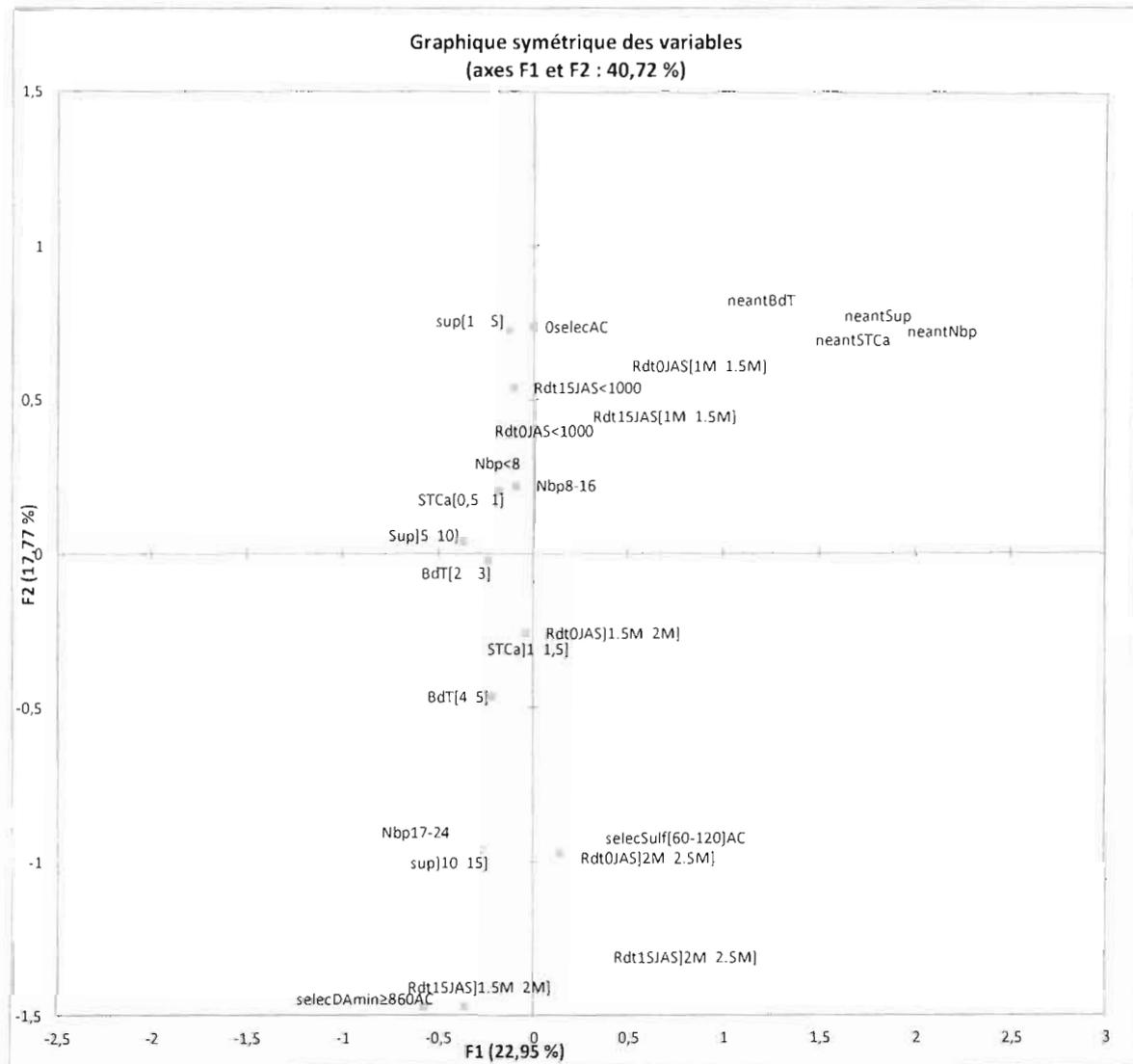


Figure 7 : Représentation des modalités des variables actives dans le plan factoriel (1,3).

De la représentation des variables supplémentaires sur le plan (1,2) (Figure 8), on observe que l'axe F1 oppose les groupements de femmes peuls, non-propriétaires de parcelles (neantSup), ni de bœufs de trait (neantBdT), situés du côté positif de l'axe, aux exploitations familiales titulaires de parcelles (sup[1 5], Sup]5 10], sup]10 15) et de bœufs de trait (BdT[2 3], BdT[4 5]).



**Figure 8** : Représentation des modalités des variables supplémentaires dans le plan factoriel (1,2).

Quant à l'axe F2, il discrimine du côté négatif des producteurs ayant relativement de grandes superficies cultivées (Sup]10 15]), des grandes familles (Np17-24) et un nombre important de bœufs de trait (BdT[4 5]). Ce sont essentiellement ces producteurs qui ont utilisé l'herbicide de post-levée sélectif pour le premier désherbage ; notamment du Nicosulfuron (selecSulf[60-120]AC) ou du 2,4-D (selecDAmin≥860AC) et obtenu des rendements en maïs de 1500 kg/ha à 2500 kg/ha (Rdt15JAS]1.5M 2M], Rdt15JAS]2M 2.5M], Rdt0JAS]2M 2.5M]). Du côté positif, ce sont les producteurs possédant des superficies plus faibles (Sup]5 10]) et des familles relativement plus petites (Nbp<8, Nbp8-16). Ces producteurs n'ont pas utilisé d'herbicide de post-levée sélectif pour le désherbage (0selecAC) et ont obtenu des rendements

maïs de moins de 1000 kg/ha à 1500 kg/ha (Rdt15JAS<1000, Rdt0JAS<1000, Rdt0JAS[1M 1.5M]).

### 3.1.1.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

A l'issue de la classification, en coupant le dendrogramme entre le niveau 2-3, trois groupes de producteurs se dégagent selon la mise en œuvre du système d'AC expérimenté (Figure 9).

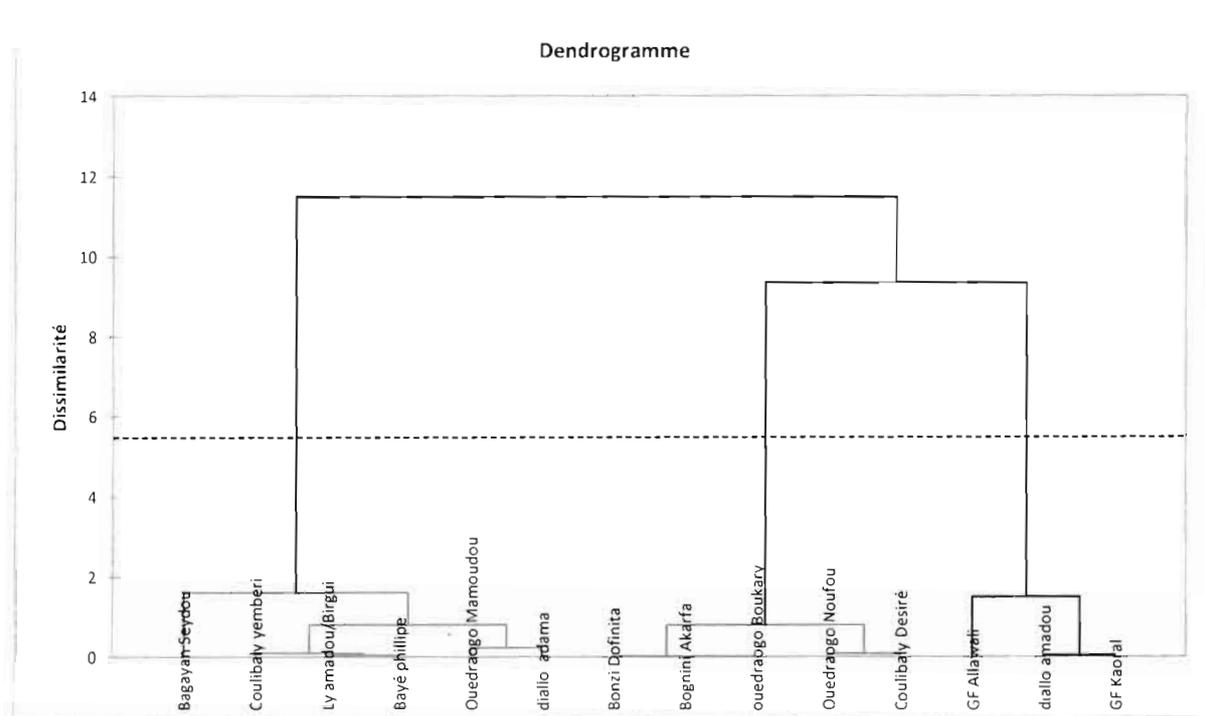
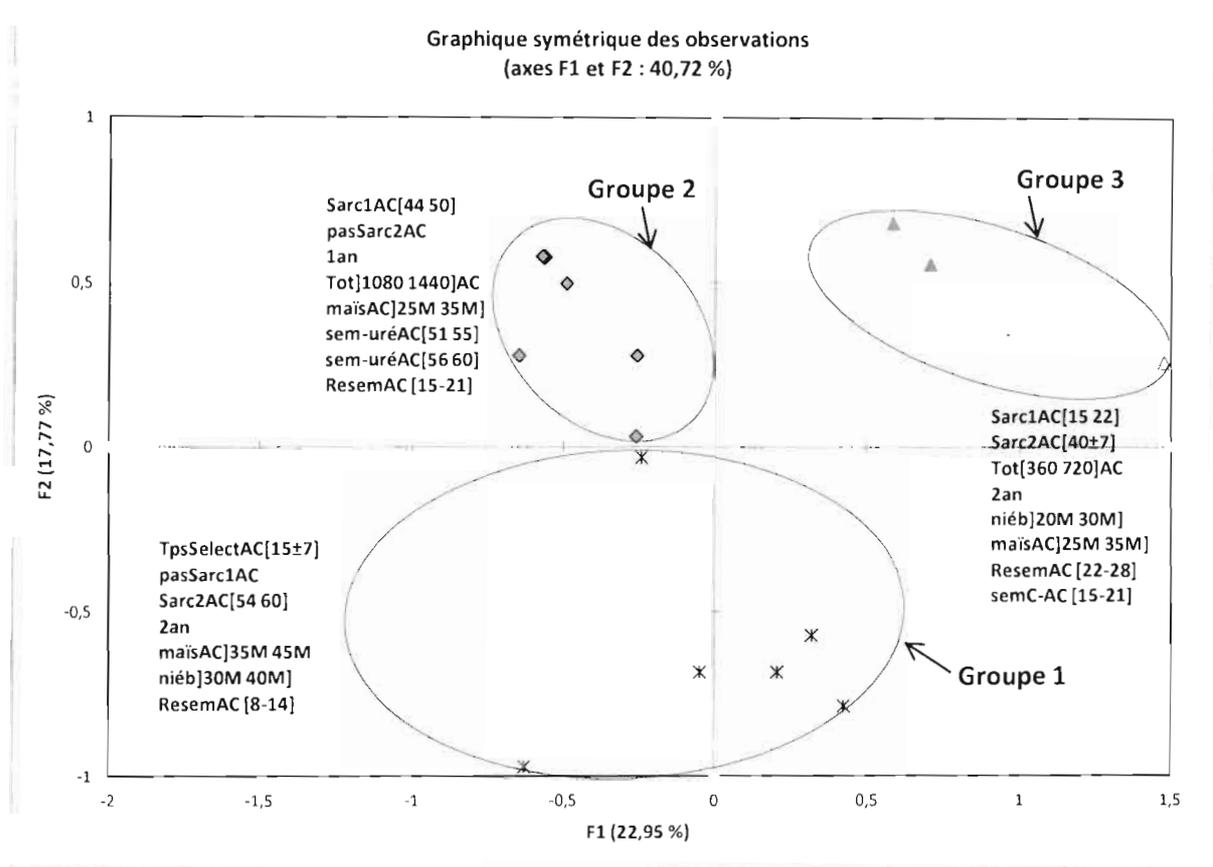


Figure 9 : Diagramme de la classification ascendante hiérarchique.

### 3.1.1.3. Projection des individus sur les axes principaux et description des groupes de producteurs

La projection des individus sur le plan factoriel (1,2) permet de représenter les trois groupes de producteurs définis par la CAH (Figure 10).



**Figure 10 :** Projection des groupes de producteurs dans le plan factoriel (1,2).

### 3.1.1.3.1. Groupe 1 : Désherbage chimique des mauvaises herbes (6 expérimentateurs)

Ce groupe est représenté par les producteurs qui ont utilisé en moyenne les plus fortes doses d'herbicide total ( $1675 \pm 622$  g.m.a de glyphosate/ha) pour la maîtrise des adventices avant semis. Aussi, pour lutter contre les mauvaises herbes après la mise en place des cultures, ces producteurs se sont distingués par une application d'herbicide de post-levée sélectif (860 à 2500 g.m.a de 2,4-D/ha ou 60 g.m.a de nicosulfuron/ha) en guise de premier désherbage, cela à la période recommandée (15 à 22 jours après semis), puis ont réalisé un sarclage manuel autour de 54 à 60 jours. Les densités de maïs et de niébé observées pour ces producteurs sont également les plus élevées ( $37\,430 \pm 5999$  pieds/ha de maïs et  $38\,264 \pm 9780$  pieds/ha de niébé). L'engrais NPK a été appliqué à la dose moyenne de  $155 \pm 42$  kg/ha et de  $169 \pm 42$  kg/ha respectivement pour le traitement AC J0 et AC J15. Cinq de ces producteurs (5/6) sont en deuxième année d'expérimentation de systèmes d'AC sur leurs parcelles. Le niveau moyen de biomasse utilisée pour la couverture du sol a été de  $4,22 \pm 2,30$  t/ha pour ces

producteurs. Ce groupe a obtenu des rendements en maïs de  $1995 \pm 784$  kg/ha et  $1761 \pm 787$  kg/ha respectivement pour le traitement AC J0 et AC J15.

Les exploitations de ce groupe ont en moyenne des familles de  $15 \pm 6$  personnes, cultivant des superficies de  $8 \pm 4$  ha et disposant de  $3 \pm 2$  bœufs de trait.

### **3.1.1.3.2. Groupe 2 : Désherbage manuel avec une opération de désherbage (5 expérimentateurs)**

Pour les producteurs de ce groupe, les doses d'herbicide total appliquées pour la maîtrise des adventices avant le semis ( $1555 \pm 436$  g.m.a/ha de glyphosate) et les densités de peuplement de maïs et de niébé ( $35354 \pm 5688$  pieds/ha pour le maïs et  $34\ 083 \pm 5961$  pour le niébé) sont proches de celles du groupe 1. Cependant, pour la lutte contre les mauvaises herbes après la mise en place des cultures, ces producteurs n'ont réalisé qu'un seul sarclage manuel et cela de manière tardive ( $40 \pm 7$  jours après semis); aucun autre désherbage n'a ensuite été effectué. Les doses d'NPK appliquées par ces producteurs ont été en moyenne supérieures à celles du groupe 1 ( $176 \pm 62$  kg/ha pour les traitements AC J0 et AC J15). Ces producteurs ont obtenu des rendements en maïs de  $804 \pm 461$  kg/ha et  $862 \pm 674$  kg/ha respectivement pour le traitement AC J0 et AC J15. Trois des cinq producteurs (3/5) constituant ce groupe sont à la première année d'expérimentation de systèmes d'AC sur leurs parcelles. La biomasse pour la couverture du sol a été de  $3,06 \pm 2,22$  t/ha pour les producteurs de ce groupe.

Ces exploitations ont des familles de  $11 \pm 5$  personnes, disposent de superficies de  $8 \pm 3$  ha et de  $3 \pm 2$  bœufs de trait.

### **3.1.1.3.3. Groupe 3 : Désherbage manuel avec deux opérations de désherbage (3 expérimentateurs)**

Des doses variables d'herbicide total ont été appliquées par ces producteurs ( $1152 \pm 10\ 32$  g.m.a/ha de glyphosate) pour la maîtrise de l'enherbement avant semis. La lutte contre les mauvaises herbes pendant l'entretien des cultures a été effectuée par deux désherbages manuels, un premier sarclage manuel autour de 15 à 22 jours après semis, suivi d'un deuxième sarclage à  $40 \pm 7$  jours après semis. Les densités de peuplement de maïs ( $31\ 481 \pm 5133$  pieds/ha) et surtout de niébé ( $22\ 222 \pm 5242$  pieds/ha) observées dans ce groupe ont été plus faibles que ceux des groupes 1 et 2. Ces producteurs ont appliqué l'engrais NPK à la dose moyenne de  $151 \pm 68$  kg/ha et  $145 \pm 21$  kg/ha respectivement pour les traitements AC J0 et AC

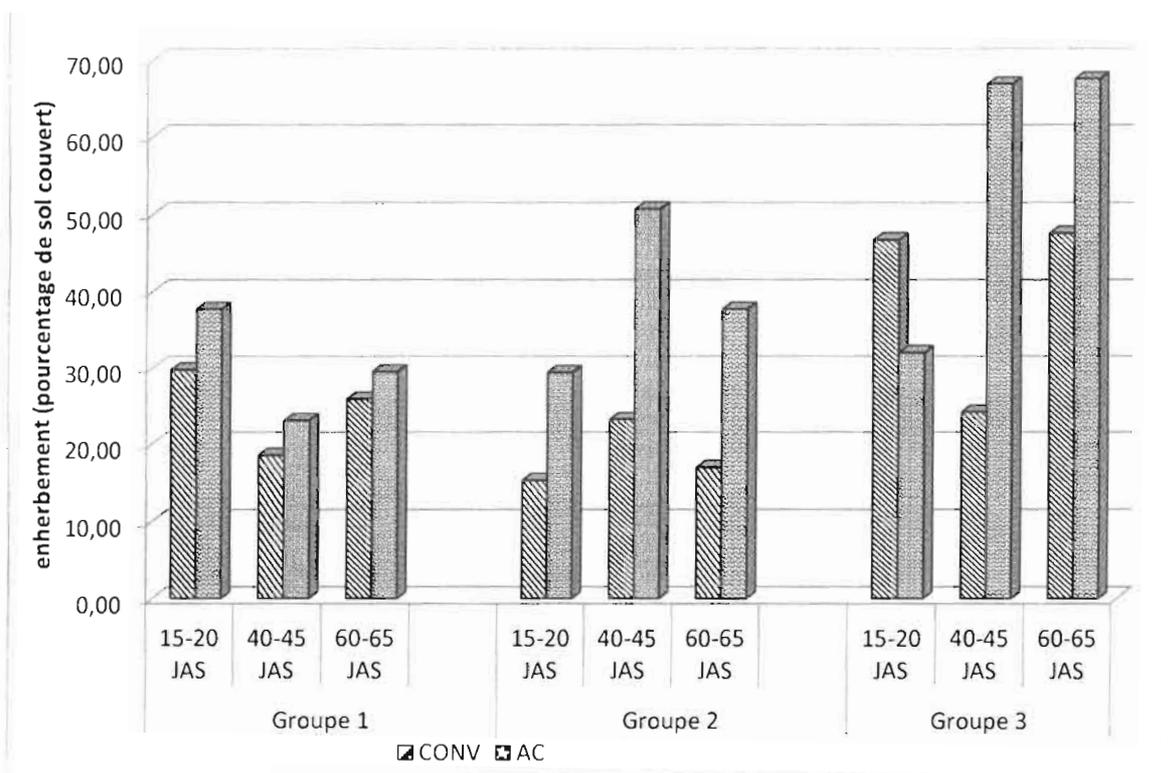
J15 et ont obtenu des rendements en maïs de  $1154 \pm 970$  kg/ha et de  $815 \pm 483$  kg/ha respectivement pour les traitements AC J0 et AC J15. Le niveau de couverture en biomasse observé sur les parcelles de ces producteurs a été de  $5,26 \pm 2,41$  t/ha.

Ce groupe se compose des deux (02) groupements de femmes peuls (non titulaires de parcelle ni de bœufs de trait) et d'une exploitation familiale de producteur peul.

### 3.1.2. Effets du système d'agriculture de conservation sur les performances techniques et agronomiques à l'échelle de la parcelle

#### 3.1.2.1. Effets du système d'agriculture de conservation sur l'enherbement et l'humidité du sol

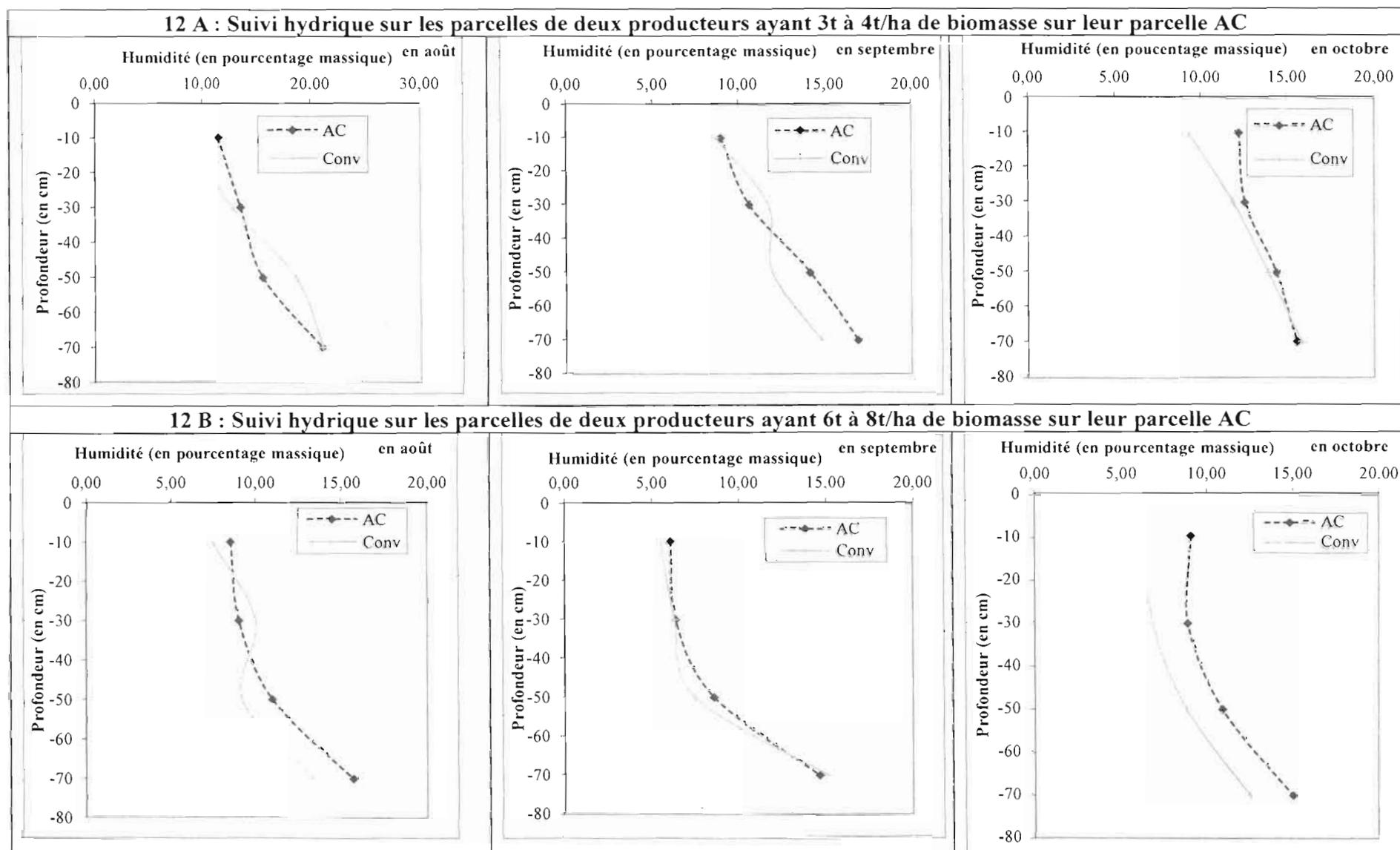
Les résultats de recouvrement du sol par les adventices (Figure 11) montrent que l'enherbement sur le système d'AC, pour tous les groupes de producteurs (hormis celui des producteurs de groupe 3 pour la période 15 à 20 jours après semis) est plus élevé que celui du système conventionnel aux différentes périodes de mesure.



**Figure 11** : Enherbement des parcelles de système d'agriculture de conservation (AC) et de système conventionnel (Conv) aux différentes périodes de mesure.

Cette différence est cependant relativement faible pour le groupe 1 avec des différences de 8%, 5% et 4 % respectivement aux périodes de 15 à 20 JAS, 40 à 45 JAS et 60 à 65 JAS. Pour le groupe 2, cette différence d'enherbement est de 14%, 27% et 21% aux différentes périodes successives de mesure ; et de -14%, 43% et 20% respectivement aux périodes de 40 à 45 JAS et 60 à 65 JAS pour le groupe 3.

Les profils hydriques du sol sous AC et sous système conventionnel (Figure 12) montrent que de manière générale, l'humidité du sol sous le système d'AC est plus importante que sous le système conventionnel, surtout au niveau des couches de 0 à 20 cm du sol. Cette différence d'humidité au niveau du profil de sol est de plus en plus nette avec la diminution progressive de la pluviométrie d'août à octobre. Ainsi, les profils hydriques du sol sous le système AC se retrouvent distinctement au-dessus de ceux sous le système conventionnel en octobre ; cela non seulement pour les parcelles de niveau de biomasse comprise entre 6 t à 8 t/ha (Figure 12 B), mais aussi pour celles avec un niveau de biomasse comprise entre 3 t et 4 t/ha (Figure 12 A). Cependant, on constate que cette tendance à avoir une humidité du sol plus importante sous le système d'AC que sous le système conventionnel, est plus marquée quand le niveau de biomasse sous AC est compris entre 6 t à 8 t/ha.



**Figure 12:** Humidité du sol sur des parcelles en AC et en agriculture conventionnelle en août, septembre et octobre.

### 3.1.2.2. Effets du système d'agriculture de conservation sur le temps de travail et le rendement du maïs.

Pour les producteurs des groupe 2 et 3, ayant opté uniquement pour le désherbage manuel sur le système AC, le temps de désherbage du système d'agriculture de conservation est significativement supérieur ( $P < 0,05$ ) à celui du système conventionnel (Tableau VI).

**Tableau VI** : Comparaison du temps de désherbage entre le système conventionnel et le système d'agriculture de conservation.

	Temps de désherbage (hj/ha)		Pr>F	Significatif
	AC	Conv		
<b>Groupe 1 (n<sub>1</sub>=6)</b>	13,75 ± 10,34	8,41 ± 7,20	0,397	Non
<b>Groupe 2 (n<sub>2</sub>=5)</b>	18,75 <sup>a</sup> ± 5,28	9,44 <sup>b</sup> ± 2,95	0,040	Oui
<b>Groupe3 (n<sub>3</sub>=3)</b>	26,66 <sup>a</sup> ± 5,71	7,23 <sup>b</sup> ± 4,83	0,031	Oui

n<sub>1</sub> = nombre de producteurs du groupe 1 ; n<sub>2</sub> = nombre de producteurs de groupe 2 ;  
n<sub>3</sub> = nombre de producteurs du groupe 3 ; AC = système d'agriculture de conservation ;  
Conv = système conventionnel.

Les valeurs suivies d'une même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman Keuls.

Le temps moyen de désherbage du système AC des producteurs du groupe 2 (18,75 hj/ha) atteint le double de celui du système conventionnel. Celui des producteurs du groupe 3 (26,66 hj/ha) est pratiquement 3,5 fois celui du système conventionnel (7,23 hj/ha). Par contre pour les producteurs du groupe 1 (ayant opté pour un désherbage chimique comme premier sarclage sur le système AC), l'augmentation du temps de désherbage du système AC est relativement faible (plus 5,35 hj/ha). L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative ( $P > 0,05$ ) de temps de désherbage entre le système d'agriculture de conservation et le système conventionnel pour ce groupe (Tableau VI).

Les résultats du tableau VII ne révèlent pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) pour les variables temps de travail total, rendements grain de maïs et rendement paille de maïs entre les traitements, quel que soit le groupe de producteurs considéré.

On observe cependant que les rendements en grain de maïs du système conventionnel (Conv J0 et Conv J15) sont numériquement supérieurs à ceux du système d'agriculture de conservation (AC J0 et AC J15), cela pour tous les groupes de producteurs (Tableau VII).

Par ailleurs, entre les traitements du système d'agriculture de conservation, on observe une tendance à obtenir des rendements (grain et paille) plus élevés pour le traitement avec apport

d'engrais NPK au semis (AC J0), que pour celui avec apport 15 jours après semis (AC J15). En ce qui concerne les rendements grains, cet écart est de 237,13 kg/ha pour les producteurs du groupe 1 et de 339,7 kg/ha pour les producteurs du groupe 3. Pour le groupe 2, les rendements des deux traitements sont proches. En ce qui concerne les rendements paille, cet écart est de 114,13 kg/ha, 177,75 kg/ha et de 328,29 kg/ha respectivement pour les producteurs des groupes 1, 3 et 2 (Tableau VII).

**Tableau VII** : Comparaison du temps de travail total, du rendement grain et du rendement paille du maïs entre les traitements par groupe identifié.

Groupe identifié	Variables	Traitements				Pr > F	Significatif
		AC J0	AC J15	Conv J0	Conv J15		
Groupe 1 (n <sub>1</sub> = 6)	Temps de travail total (hj/ha)	21,86± 10,07	24,72 ± 10,10	21,82± 7,03	21,12± 7,05	0,896	non
	Rendement grain (kg/ha)	1995,06 ± 784,04	1760,93 ± 787,57	2043,75± 1059,27	1973,321 ± 704,92	0,825	non
	Rendement paille (kg/ha)	1868,79 ± 707,98	1754,66 ± 473,49	1741,14 <sup>a</sup> ± 944,10	2212,40 ± 1021,87	0,567	non
Groupe 2 (n <sub>2</sub> = 5)	Temps de travail total (hj/ha)	28,18 ± 5,27	29,68 ± 4,97	23,42 ± 6,55	22,72 ± 5,79	0,078	non
	Rendement grain (kg/ha)	803,58 ± 461,47	862,23 ± 673,54	954,66 ± 419,14	913,25 ± 540,35	0,893	non
	Rendement paille (kg/ha)	1371,39 ± 927,84	1043,10 ± 671,87	1027,8 ± 997,26	1444,03 ± 558,31	0,607	non
Groupe 3 (n <sub>3</sub> = 3)	Temps de travail total (hj/ha)	43,46 ± 17,63	47,19 ± 19,3	36,02 ± 3,45	30,05 ± 5,66	0,174	non
	Rendement grain (kg/ha)	1154,45 ± 968,50	814,75 ± 482,80	1082,70 ± 1067	605,13 ± 647,47	0,590	non
	rendement paille (kg/ha)	1410,83 ± 924,50	1233,08 ± 968,60	1977,95 ± 786,46	1128,97 ± 570	0,410	non

n<sub>1</sub> = nombre de producteurs de groupe 1 ; n<sub>2</sub> = nombre de producteurs de groupe 2 ;

n<sub>3</sub> = nombre de producteurs de groupe 3

Les valeurs sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de F de Fisher.

En ce qui concerne le temps de travail total, le traitement d'agriculture de conservation avec apport d'engrais NPK 15 jours après semis (AC J15), présente numériquement le temps de travail le plus élevé entre les traitements. Il est suivi successivement par le traitement AC J0, Conv J0 et Conv J15, et cela, pour tous les groupes observés (tableau VI).

### **3.1.3. Effets de l'insertion de l'AC dans la sole en maïs à l'échelle des exploitations**

A l'issue de la première séance d'échange avec les producteurs sur les résultats de l'expérimentation (Itinéraire technique mis en œuvre par les 3 groupes de producteurs identifiés, rendement obtenu, avantages et contraintes observés), il ressort que la superficie en AC qu'ils jugent réalisable sur leurs exploitations ne peut excéder 0,5 ha (7,5% à 16,7% de la superficie des exploitations concernées) et cela, à cause de la contrainte principale qui est de disposer de la biomasse pour une bonne couverture du sol. Ainsi, les implications d'une insertion de l'AC sur 0,5 ha de la sole de maïs des exploitations ont été explorées. Le tableau VIII montre les principales caractéristiques de la situation de base des exploitations avec lesquelles les échanges ont été effectués. Une présentation plus détaillée est donnée en annexe (Annexe 3).

**Tableau VIII** : Principales caractéristiques des exploitations pour leur situation de base (Scenario S0).

Caractéristiques des exploitations	Exploitations du groupe 1		Exploitation du groupe 2	
	Producteur 1	Producteur 2	Producteur 3	Producteur 4
Objectifs principaux (1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup> objectifs)	Accroître son cheptel, Puis satisfaire le besoin alimentaire familial	Gain monétaire, Puis satisfaire le besoin alimentaire familial	Gain monétaire, Puis satisfaire le besoin alimentaire familial	Satisfaire le besoin alimentaire familial, Puis gain monétaire
Stratégies	Elevage de bovins et culture de maïs	Culture de coton et de maïs	Phase de diminution de la superficie de coton au profit de céréales (maïs, sorgho)	Culture céréalière (maïs, sorgho, mil) et abandon du coton pour le sésame et l'arachide
Nombre de bouches à nourrir	11	7	11	15
Nombre d'actifs en hivernage	6	5	5	5
Nombre de charrues	1	1	1	1
Surface de coton (en ha)	0	1,5	2,5	0
Surface de maïs (en ha)	2	1,75	3	2
Surface de sorgho (en ha)	0,12	0	0,75	1
Surface de mil (en ha)	0	0	0	1
Surface de riz (en ha)	0	0,5	0	0,25
Surface d'arachide (en ha)	0	0,12	0,25	1
Surface de niébé (en ha)	0,25	0,25	0,12	0,25
Surface de sésame (en ha)	0	0	0	1
Surface de cultures fourragères (en ha)	0,12	0	0	0
Superficie totale	3	4,12	6,62	6,5
Nombre de bœufs de trait au début de l'hivernage	2	2	4	2
Nombre de bovins d'élevage au début de l'hivernage	30	2	13	1

**Tableau IX : (Suite)**

Caractéristiques des exploitations		Exploitations du groupe 1		Exploitation du groupe 2	
		Producteur 1	Producteur 2	Producteur 1	Producteur 2
Nombre de petits ruminants au début de l'hivernage		14	4	4	16
Nombre global de bovins d'élevage achetés		0	0	2	0
Nombre global de bovins d'élevage vendus		2	0	0	0
Nombre de bœuf de trait vendu		0	0	1	0
Nombre global de petits ruminants achetés		0	1	2	0
Nombre global de petits ruminants vendus		6	0	2	2
Nombre d'animaux de chaque lot recevant une complémentation en saison sèche chaude	Bovins d'élevage	7	2	0	1
	Bœufs de trait	2	2	4	2
	Bœufs d'embouche	0	0	0	0
	Vaches laitières	0	0	0	0
	Petits ruminants	0	0	0	0

Des producteurs du groupe 3 n'ont pas été retenus pour la simulation des scénarios d'insertion d'AC car ce groupe se compose de groupement de femmes, ne disposant pas d'exploitation propre sur laquelle effectuer les simulations, et d'un producteur dont la superficie pouvant être mise sous AC (moins de 0,25 ha) ne permettait pas d'observer une variation sensible des indicateurs à l'échelle de l'exploitation par rapport à sa situation initiale.

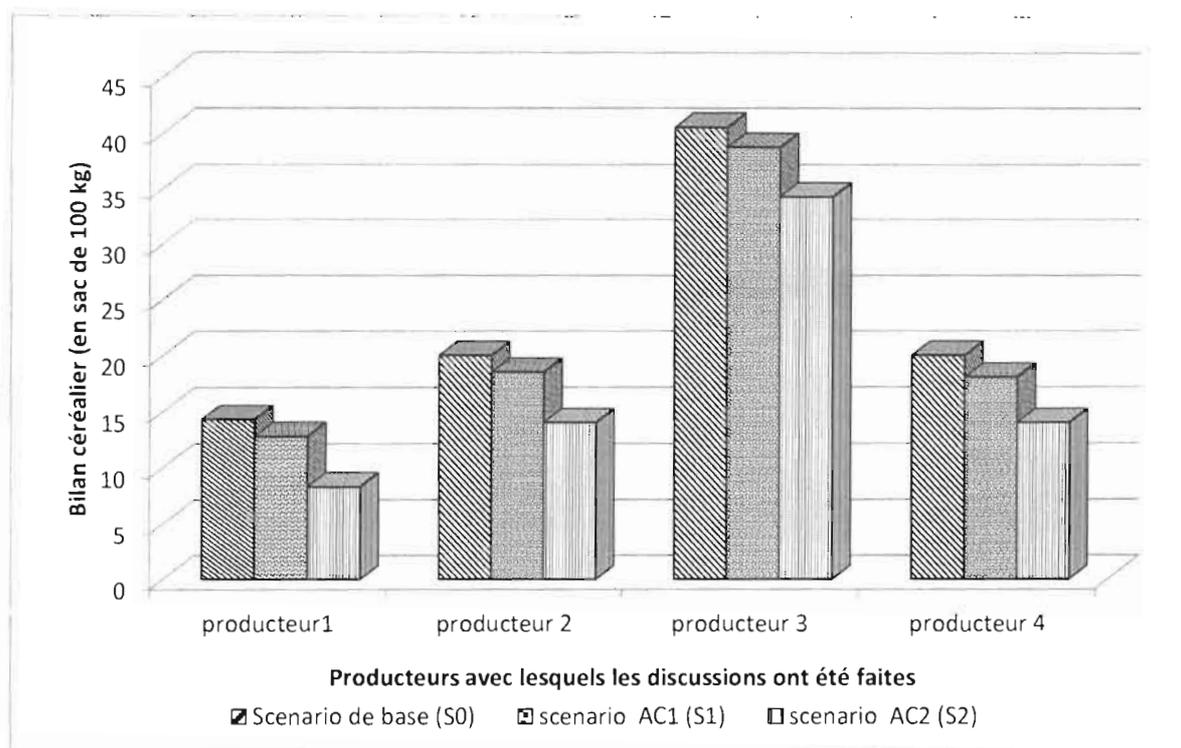
Le premier scénario d'insertion de système AC (S1) est une mise en œuvre de l'AC sur 0,5 ha de la sole en maïs des exploitations avec l'itinéraire technique tel que mis en œuvre par les producteurs du groupe 1 (l'itinéraire technique considéré comme le plus satisfaisant au cours de notre expérimentation et ayant ainsi obtenu les rendements les plus élevés). Le deuxième scénario d'AC (S2) est une insertion avec l'itinéraire technique tel que mis en œuvre par les producteurs du groupe 3 (second itinéraire technique satisfaisant après celui du groupe 1). Ces scénarios répondent à l'objectif de permettre aux producteurs de comparer l'effet sur les performances de l'exploitation de différentes conduites de l'itinéraire technique. Cela permet de conforter les producteurs appartenant au groupe 1 ou d'inciter les producteurs du groupe 2 à améliorer leur conduite. L'itinéraire technique du groupe 2 n'ayant pas respecté le nombre de désherbages convenu dans le cahier de charge n'a pas fait l'objet de simulation. Dans la pratique habituelle des producteurs, l'engrais NPK est apporté autour du 15<sup>ème</sup> jour après semis ; il a été considéré de même pour les soles en agriculture de conservation. Les rendements utilisés pour le paramétrage du modèle sont donc ceux du traitement AC J15 pour les parcelles en AC et le rendement moyen habituellement observé par les producteurs pour les parcelles en agriculture conventionnelle. Aussi, sur les parcelles en AC, les fanes de niébé sont considérées comme récoltées pour le fourrage et les résidus de maïs conservés pour couvrir le sol. Par ailleurs, on considère qu'il n'y a pas d'apport de fumure organique sur les parcelles en AC. Les changements de gestion occasionnés par l'insertion du système d'AC (scénarios S1 et S2) ne concernent que la sole en maïs (Tableau IX), les autres caractéristiques des exploitations restent identiques à celles de la situation de base (S0).

**Tableau X** : Sole de maïs des exploitations pour les scénarios S1 et S2.

Sole de maïs	Unité	Exploitations du groupe 1		Exploitations du groupe 2	
		Producteur 1	Producteur 2	Producteur 3	Producteur 4
Sole de maïs en Agriculture conventionnelle	ha	1,5	1,25	2,5	1,5
Sole de maïs en Agriculture de conservation	ha	0,5	0,5	0,5	0,5
Pourcentage de la sole de maïs en AC	-	33%	28,5%	16%	33%
Pourcentage de la superficie de l'exploitation sous AC	-	16,7%	12,13%	7,5%	7,7%
Modification de variables d'entrées du modèle liées à l'insertion de l'AC		Achat supplémentaire d'herbicide total Economie d'achat d'herbicides de pré-levée du maïs Achat d'herbicides de post-levée sélectif du maïs pour le scénario S1			

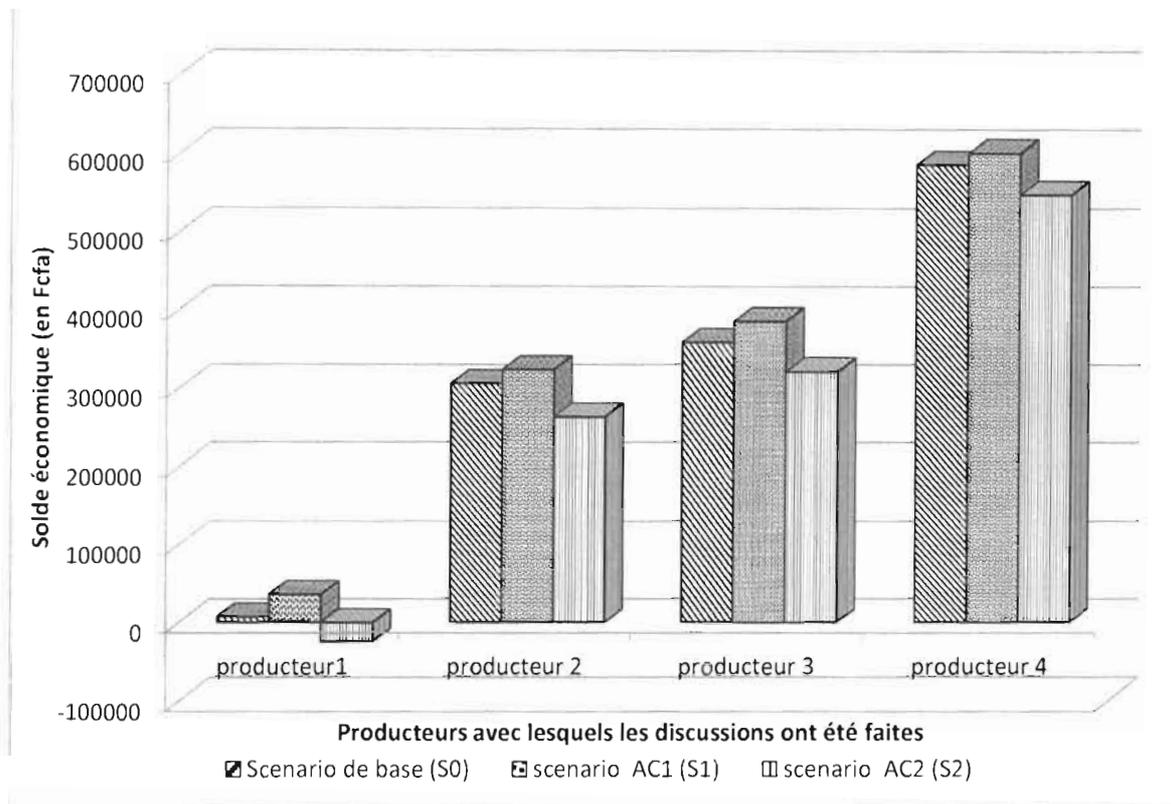
### 3.1.3.1. Effet sur le bilan céréalié et le solde économique des exploitations.

Les résultats de simulation montrent que l'adoption du système d'AC expérimenté sur 0,5 ha de la sole en maïs des exploitations, entraîne une diminution du bilan céréalié (Figure 13). Pour le scénario S1, cette réduction est moindre (de l'ordre de 4 à 10%) par rapport au scénario S2 où la réduction est comprise entre 15 % et 42 % du bilan céréalié des exploitations.



**Figure 13** : Bilan céréalié des exploitations pour la situation de base (S0) et des scénarios d'insertion de l'AC (S1 et S2).

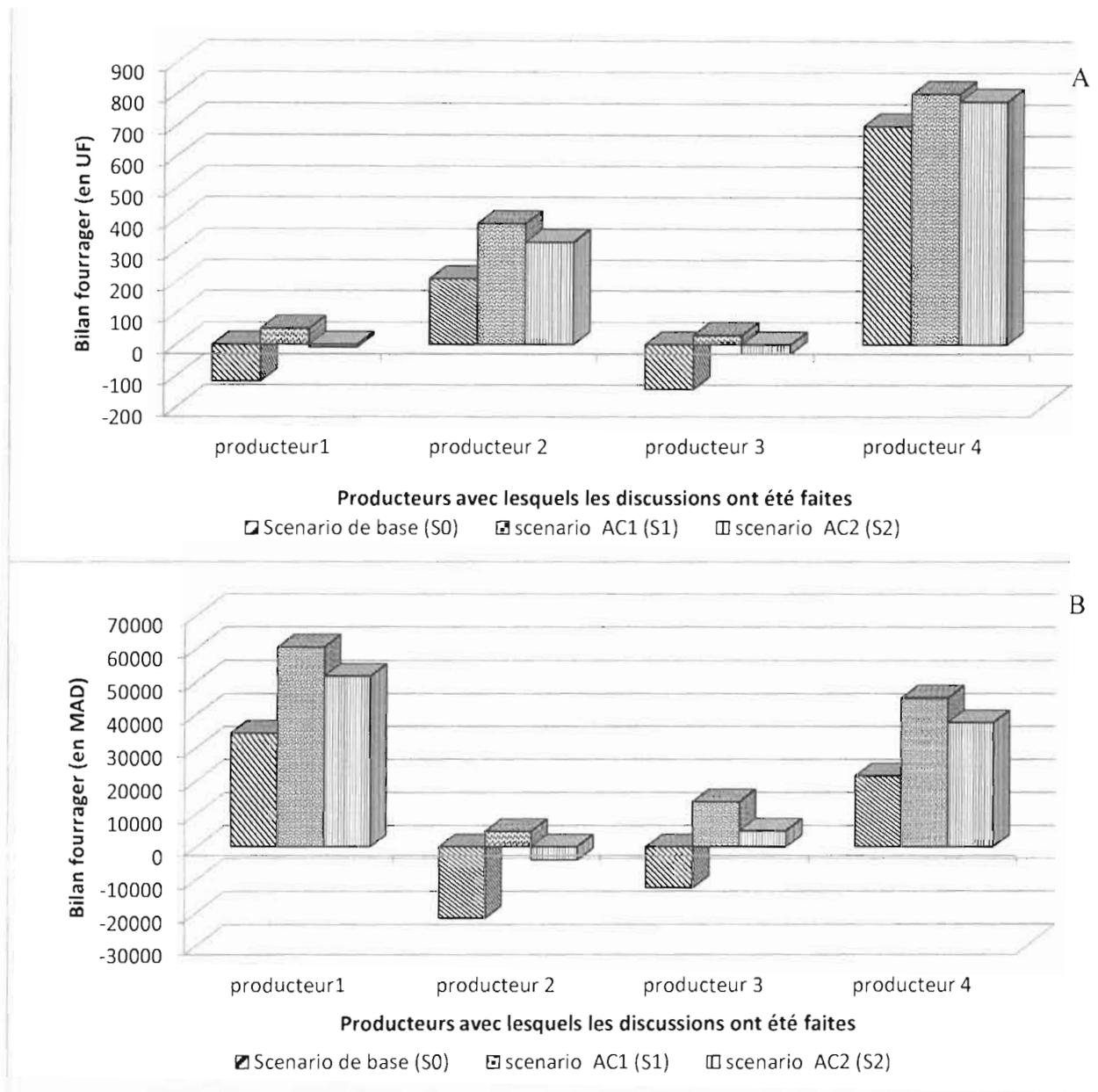
L'insertion du système d'AC permet cependant, pour le scénario S1, d'améliorer le solde économique des exploitations par rapport à leur situation de base (Figure 14). Cette amélioration est de 2% à 7% pour les producteurs 2, 3 et 4, et de plus de 300% pour le producteur 1. Pour le scénario 2, on observe en revanche une réduction du solde économique des exploitations. Cette réduction est de 6% à 14% pour les producteurs 2, 3 et 4, et de plus de 400% pour le producteur 1 dont le solde économique devient négatif.



**Figure 14** : Solde économique des exploitations pour la situation de base (S0) et des scénarios de l'AC (S1 et S2).

### 3.1.3.2. Effet sur le bilan fourrager et la charge de travail des exploitations

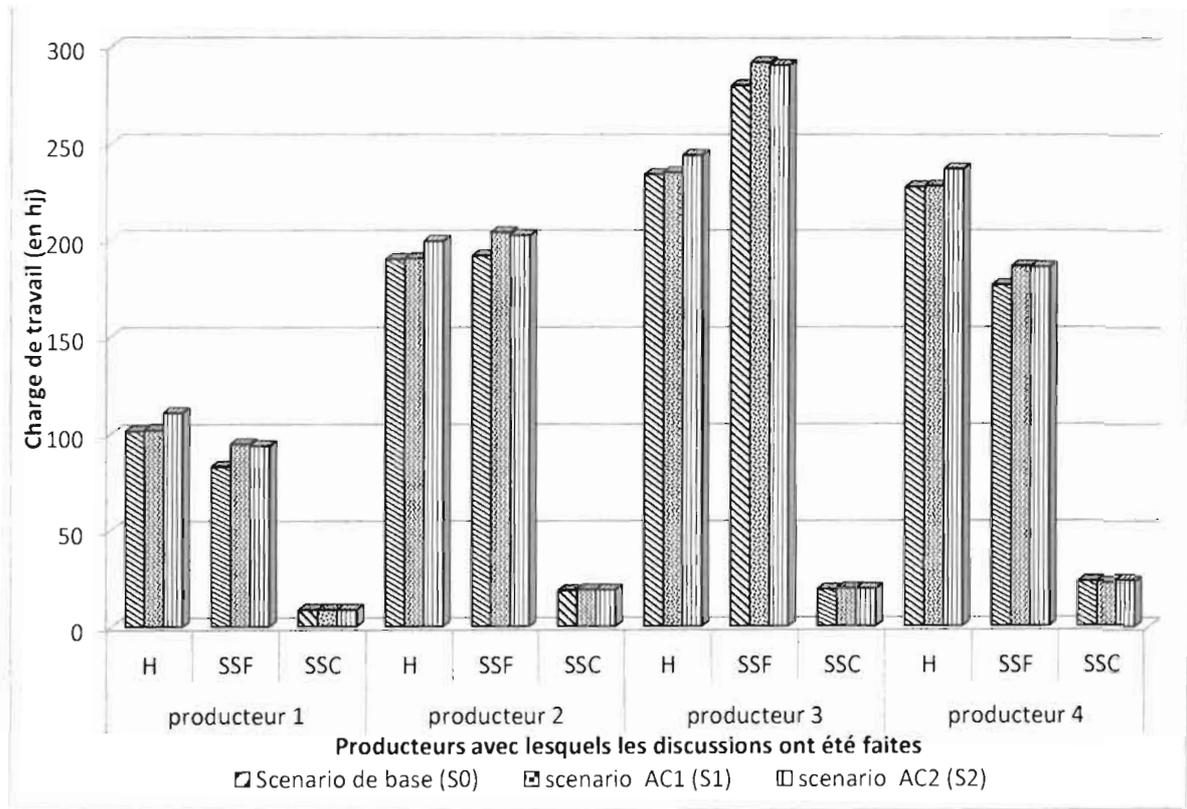
Du fait des fanes produites par le niébé en association, et de leur utilisation pour la réalisation de stocks fourragers destinés à l'alimentation des animaux en saison sèche, l'insertion du système AC améliore le bilan fourrager en unité fourragère (UF) et en matière azotée digestible (MAD), quel que soit le scénario d'insertion de l'AC (S1 ou S2) (Figure 15). Cette amélioration est cependant plus importante pour le scénario S1. Ainsi, le bilan en UF (Figure 15 A) des producteurs 1 et 3, négatif pour le scénario de base, devient positif dans le cas du scénario S1. Pour le scénario S2, le bilan s'améliore de 79% à 93%, mais reste négatif.



**Figure 15 :** Bilan fourrager (en UF et en MAD) des animaux alimentés sur les exploitations en saison sèche chaude pour la situation de base (S0) et des scénarios de mise en œuvre de l'AC (S1 et S2)

En termes de MAD (Figure 15 B), le bilan fourrager des producteurs 2 et 3, déficitaire pour leur situation de base, devient positif pour le scénario S1. Pour le scénario S2, le bilan du producteur 3 s'améliore de plus de 100% et devient positif. Celui du producteur 2 reste déficitaire même s'il s'améliore de 81%.

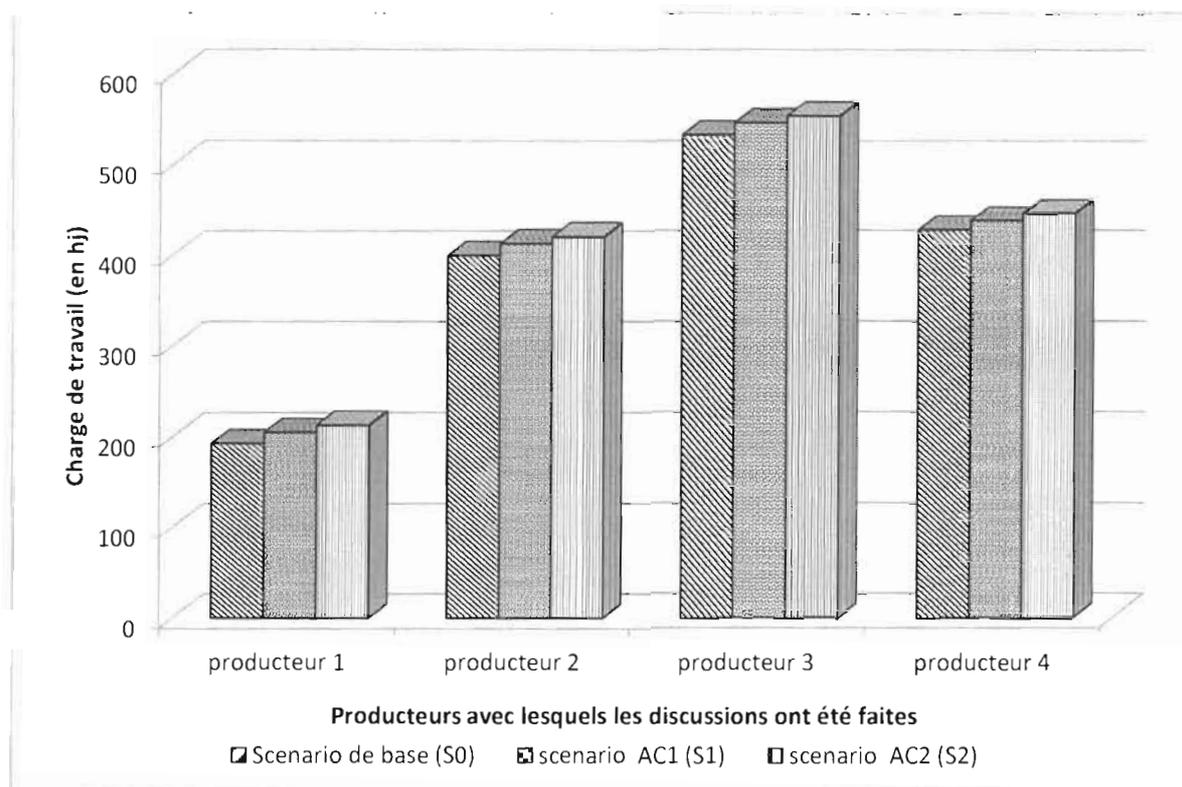
La figure 16 présente l'évolution des charges de travaux du système de culture des exploitations avec l'insertion de l'AC pour la période d'hivernage (H), de saison sèche froide (SSF) et de saison sèche chaude (SSC).



**Figure 16 :** Charge de travail du système de culture des exploitations pour la période d'hivernage, de saison sèche froide et de saison sèche chaude en situation de base (S0) et des scénarios d'insertion l'AC (S1 et S2).

Pour la période d'hivernage, la charge de travail des exploitations reste pratiquement inchangée (augmentation de moins de 0,5%) pour le scénario S1 du fait de l'utilisation d'herbicide. Par contre lorsque le désherbage est seulement manuel (cas du scénario S2), on observe une augmentation de la charge de travail de l'ordre de 4% à 9 % suivant les producteurs. Pour la période de saison sèche froide, on note une augmentation du temps de travail ; augmentation liée à la récolte et au transport du niébé (fane et gousse) en association. Cette augmentation de la charge de travail de 4% à 14% pour le scénario S1 est légèrement plus élevée que pour le scénario S2 (augmentation de 3% à 12%) du fait des rendements (gousse et fane) de niébé plus élevé avec le scénario S1. En saison sèche chaude, on n'observe quasiment pas de variation du temps de travail.

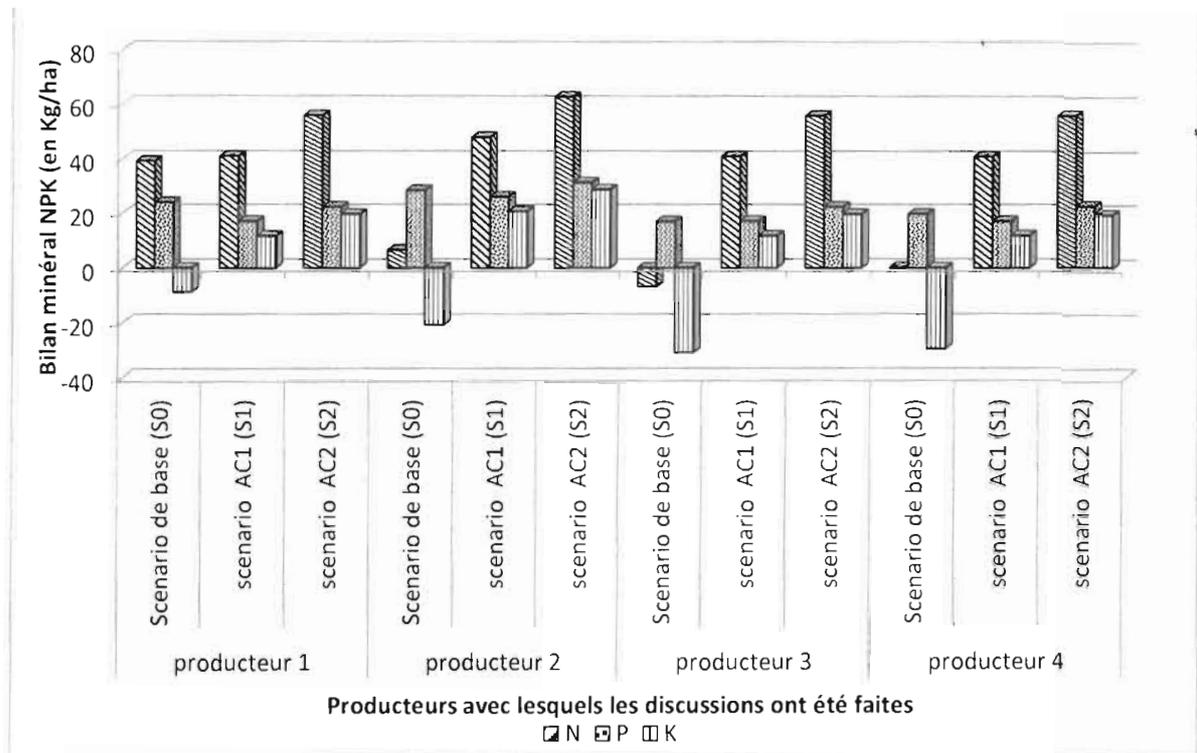
La somme des charges de travaux des trois périodes (hivernage, saison sèche froide et saison sèche chaude) (Figure 17) montre que l'introduction du système d'AC se traduit globalement par une augmentation de la charge de travail sur le système de culture ; augmentation de 2% à 6% dans le cas du scénario 1 et de 4% à 10% dans le cas du scénario 2.



**Figure 17 :** Charge totale de travail sur le système de culture des exploitations sur l'année, en situation de base (S0) et des scénarios d'insertion de l'AC (S1 et S2).

### 3.1.3.3. Effet sur le bilan minéral apparent des parcelles.

Les résultats de simulation (Figure 18) illustrent l'évolution du bilan minéral apparent des parcelles sous AC comparé à la situation de base des exploitations.



**Figure 18** : Bilan N, P et K apparent des parcelles de maïs pour la situation de base (S0) et sous scénarios d'insertion de l'AC (S1 et S2).

En situation de base, les bilans potassiques des parcelles sont négatifs pour tous les producteurs. En outre, le bilan azoté du producteur 3 est négatif et celui du producteur 4 est juste en équilibre. Avec la mise œuvre de l'AC, dans le cas du scénario S1, les bilans potassiques des parcelles deviennent positifs ; il en est de même pour les bilans azotés des producteurs 3 et 4. Aussi, le bilan azoté des producteurs 1 et 2, initialement positif, s'améliore respectivement de 4% et de plus de 100%. Par contre, les bilans phosphatés des parcelles diminuent. Cette diminution est faible pour le producteur 3 (moins 0,7%). Chez les producteurs 1, 2 et 4, la diminution est de l'ordre de 8% à 29%. Pour le scénario S2, les améliorations observées pour les bilans azoté et potassique sont plus importantes et les bilans phosphatés meilleurs que ceux observés avec le scénario S1, du fait des faibles exportations liées aux faibles rendements dans ce cas de figure.

### 3.1.4. Ajustements des systèmes de production proposés par les producteurs pour favoriser une insertion de l'AC

A l'issue des échanges sur les itinéraires techniques mis en œuvre au cours de l'expérimentation, les avantages et les contraintes mentionnés par les producteurs, pour gérer le système d'AC à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation sont résumés dans le Tableau X.

**Tableau XI** : Avantages et contraintes mentionnées par les producteurs dans la gestion du système en AC.

	<b>Système d'agriculture de conservation en général</b>	<b>Gestion du système AC par les producteurs du groupe 1 (scénario S1)</b>	<b>Gestion du système AC par les producteurs du groupe 3 (scénario S2)</b>
Echelle parcelle	Avantages	Semis précoce, car pas de travail du sol Maintien de l'humidité en période de poche de sécheresse Améliore la fertilité du sol	Gestion facile et rapide des mauvaises herbes  néant
	Contraintes	Travail supplémentaire pour l'apport et l'épandage de la biomasse Difficulté de la conservation et de disponibilité de la biomasse pour la couverture. Exécution des opérations gênées sur parcelle couverte de biomasse	Allongement de la durée de désherbage et compétition plus importante des mauvaises herbes Faible rendement
Echelle exploitation	Avantages	Production plus importante les années à venir	Respect des dates des opérations de désherbages sur d'autres parcelles  Pas de coût d'achat d'herbicide
	Contraintes	Nécessité d'apport de la biomasse en début d'hivernage pour éviter la pâture, donc coïncidence avec les activités de nettoyage et/ou de semis sur l'exploitation Nécessité de la couverture du sol par la biomasse non perçue par les actifs de l'exploitation Difficulté des actifs féminins d'effectuer le transport de la biomasse et l'opération de paillage.	Risque de retard dans l'exécution des opérations de désherbage sur d'autres parcelles

Néant : pas d'observations

Durant les échanges menés avec les producteurs sur les scénarios d'insertion de l'AC (S1 et S2), ils déclarent supportable la diminution de leur bilan céréalier, surtout au regard de l'amélioration de la fertilité du sol (bilan minéral positif), de l'amélioration de la qualité du fourrage et des économies d'achat de tourteau que cela peut occasionner. Les difficultés majeures mentionnées restent: (i) le travail nécessaire pour l'apport de la biomasse de couverture (stockage à la concession après les récoltes, transport vers les parcelles en début d'hivernage, et apport divers à partir des parcelles environnantes) ; (ii) la lutte contre les mauvaises herbes et la baisse du solde économique lorsque la gestion de l'enherbement est manuelle.

Ainsi, les ajustements de système de production proposés par les producteurs (Tableau XI) vont dans le sens de stratégies permettant la réduction de la charge de travail en début d'hivernage et durant les périodes de désherbage, afin de faciliter l'opération de paillage et la gestion de l'enherbement sur la parcelle en AC, mais aussi pour améliorer leur solde économique.

**Tableau XII** : Ajustements du système de production proposés par les producteurs à l'issue des discussions.

	<b>Producteur 1</b>	<b>Producteur 2</b>	<b>Producteur 3</b>	<b>Producteur 4</b>
	Utilisation d'herbicide de post-levée sélectif pour l'une des opérations de désherbage en AC			
Ajustements du système de production proposés : Scénario AC3 (S3)	Remplacer les 0,12 ha de sorgho et 0,12 ha d'arachide par le mucuna et valoriser l'excès de fourrage par l'engraissement en SSC d'un bœuf d'embouche acheté	Réduction du coton de 0,5 ha pour du sésame	Remplacer les 0,75 ha de sorgho par du sésame	Réduction du sorgho de 0,5 ha pour du sésame
Modification de variables d'entrées liées à l'ajustement proposé	Achat de bœuf à emboucher Coût de soins vétérinaire Achat d'herbicides de post-levée sélectif du maïs pour tous les producteurs	Achat d'insecticide pour le traitement du sésame Economie d'achat d'engrais et d'insecticide coton pour le producteur 2		

SSC : Saison sèche chaude

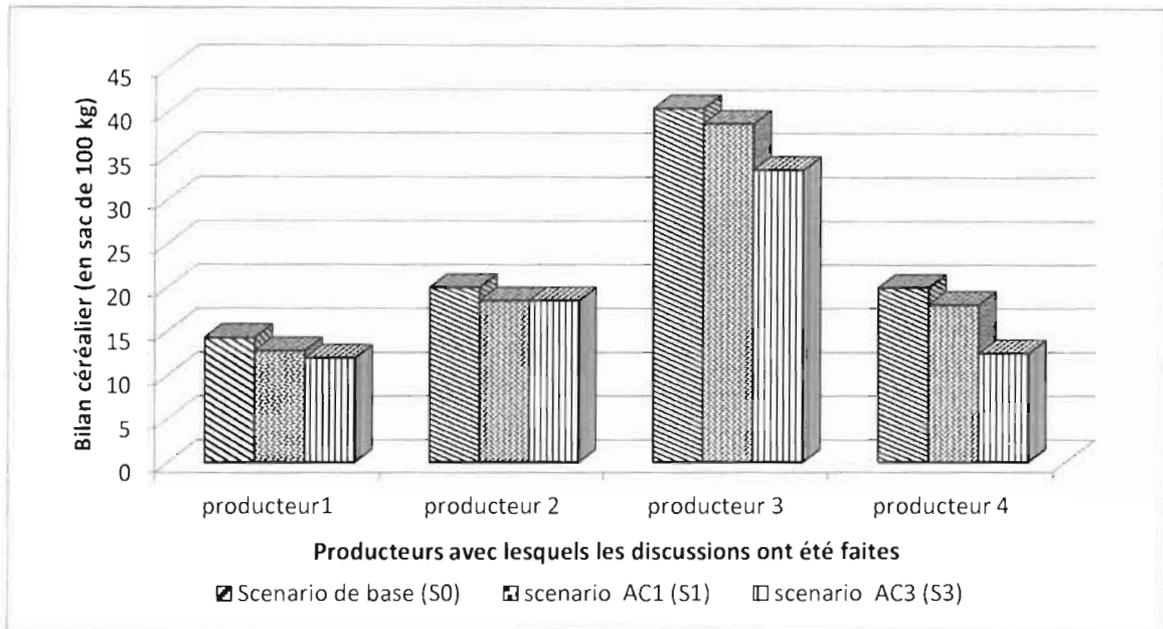
L'ajustement initial proposé par le producteur 3 a d'abord été une diminution de sa superficie de coton de 1 ha (passage de 2,5 ha à 1,5 ha) au profit du sorgho. Mais celui-ci aboutissait à une diminution de son solde économique par rapport à sa situation de base et au scénario S1. De plus, diminuer la surface en coton rend plus difficile l'acquisition d'engrais à crédit pour

fertiliser la culture de maïs dont la superficie reste inchangée (3 ha). En effet, l'obtention à crédit d'engrais auprès de la société cotonnière pour la culture du maïs, est soumise à la culture d'une certaine superficie de coton : la culture de 3 ha de coton permet de bénéficier d'engrais à crédit pour 1 ha de maïs. Par ailleurs, comme l'a mentionné le producteur, la vente du coton étant en partie destinée à régler la dette liée à l'engrais obtenu à crédit pour la culture du coton et du maïs ; une superficie de coton trop réduite par rapport à la superficie de maïs ne permettrait pas d'avoir une production suffisante de coton pour couvrir cette dépense. Ce scénario n'a donc pas été retenu et un réajustement (celui mentionné dans le tableau XI) a donc été proposé par le producteur 3. Pour les autres producteurs (1, 2 et 4), les propositions d'ajustement initialement faites (Tableau XI) ont été jugées satisfaisantes et conservées après échanges sur les résultats des simulations.

Les ajustements proposés (Tableau XI) ont porté principalement sur la culture du sésame au détriment du sorgho ou du coton (producteurs 2, 3 et 4), car le sésame apparaît comme une culture moins exigeante en temps de travail susceptible de permettre un allègement de la charge de travail sur l'exploitation pour favoriser la mise en œuvre de l'AC. Aussi c'est une culture pour laquelle il existe une opportunité de marché avec un prix de vente plus élevé que celui du coton et du sorgho.

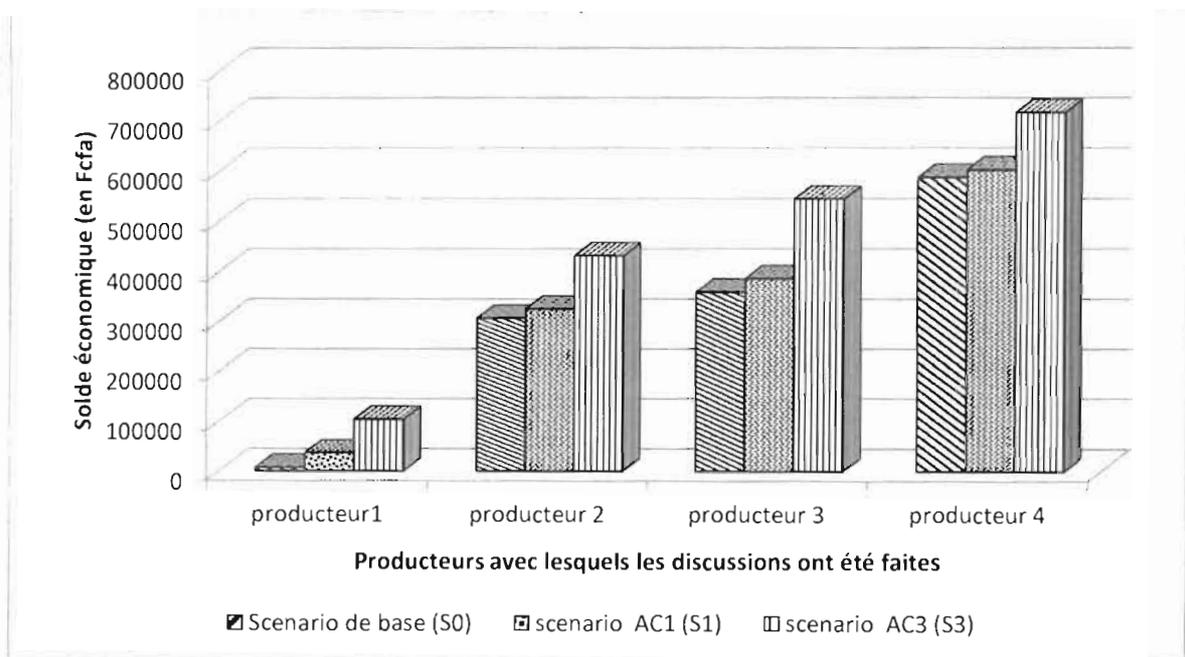
#### **3.1.4.1. Effets des ajustements sur le bilan céréalier et le solde économique des exploitations**

Chez les producteurs 1, 3 et 4, pour lesquels l'ajustement a consisté à une réduction ou abandon du sorgho, le bilan céréalier (Figure 19) est plus réduit que dans le cas du scénario S1 (16% à 37% de réduction par rapport au scénario de base), mais demeure toujours nettement positif. Pour le producteur 2 dont la réduction a concerné la superficie en coton, le bilan céréalier demeure identique à celui du scénario S1.



**Figure 19:** Bilan céréalier des exploitations pour la situation de base (S0), le scénario S1 et le scénario d'ajustement S3.

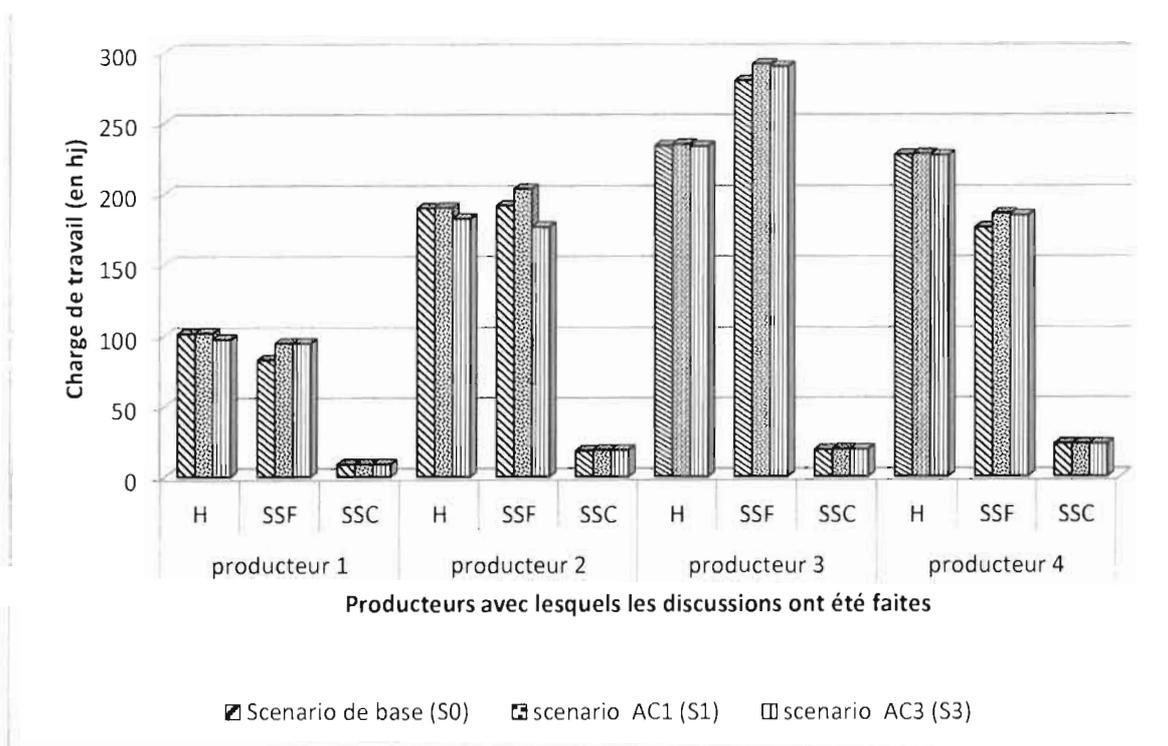
Les soldes économiques des exploitations sont cependant substantiellement améliorés avec les ajustements proposés (Figure 20). Par rapport à la situation de base, le solde économique des producteurs 2, 3 et 4 s'est amélioré de 22% à 51% et celui du producteur 1 de plus de 900%.



**Figure 20:** Solde économique des exploitations pour la situation de base (S0), le scénario S1 et le scénario d'ajustement S3.

### 3.1.4.2. Effets des ajustements sur la charge de travail et le bilan fourrager des exploitations

La Figure 21 montre que les ajustements des systèmes de production proposés permettent une réduction des charges de travaux sur le système de culture des exploitations en hivernage par rapport au scénario de base, au lieu de l'augmentation observée dans le cas du scénario S1.

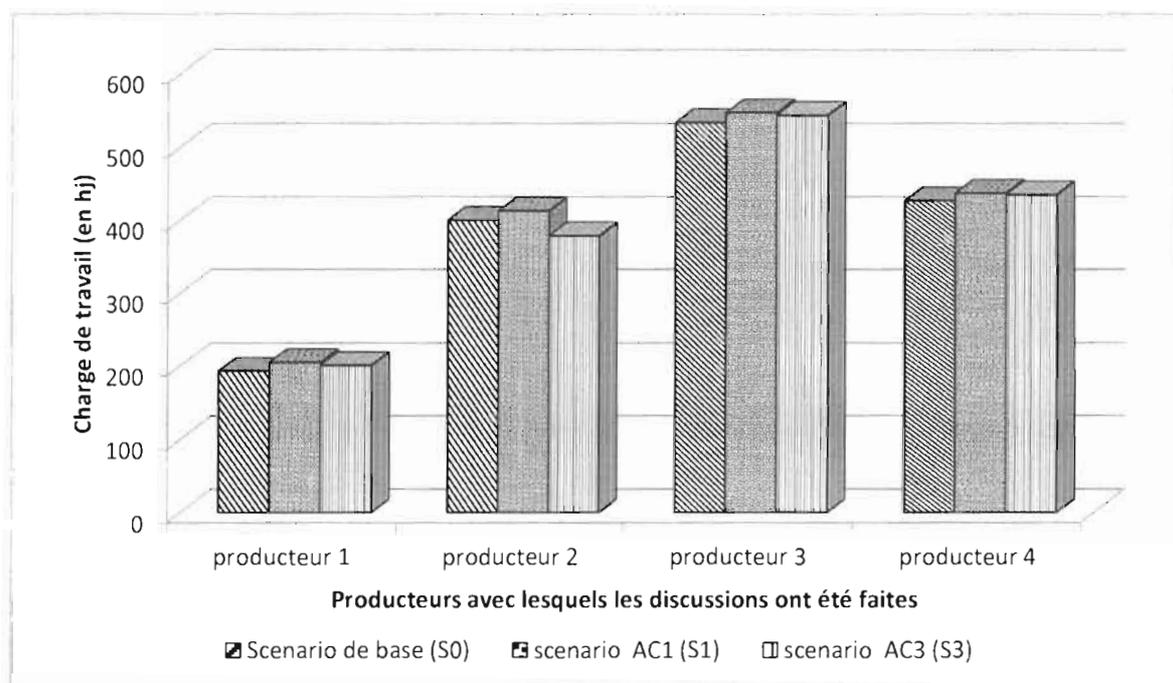


**Figure 21:** Charge de travail sur le système de culture des exploitations pour la situation de base (S0), le scénario S1 et le scénario d'ajustement S3.

Cette réduction observée est faible pour les producteurs 3 et 4 (moins de 0,5%) et de l'ordre de 4% pour les producteurs 1 et 2.

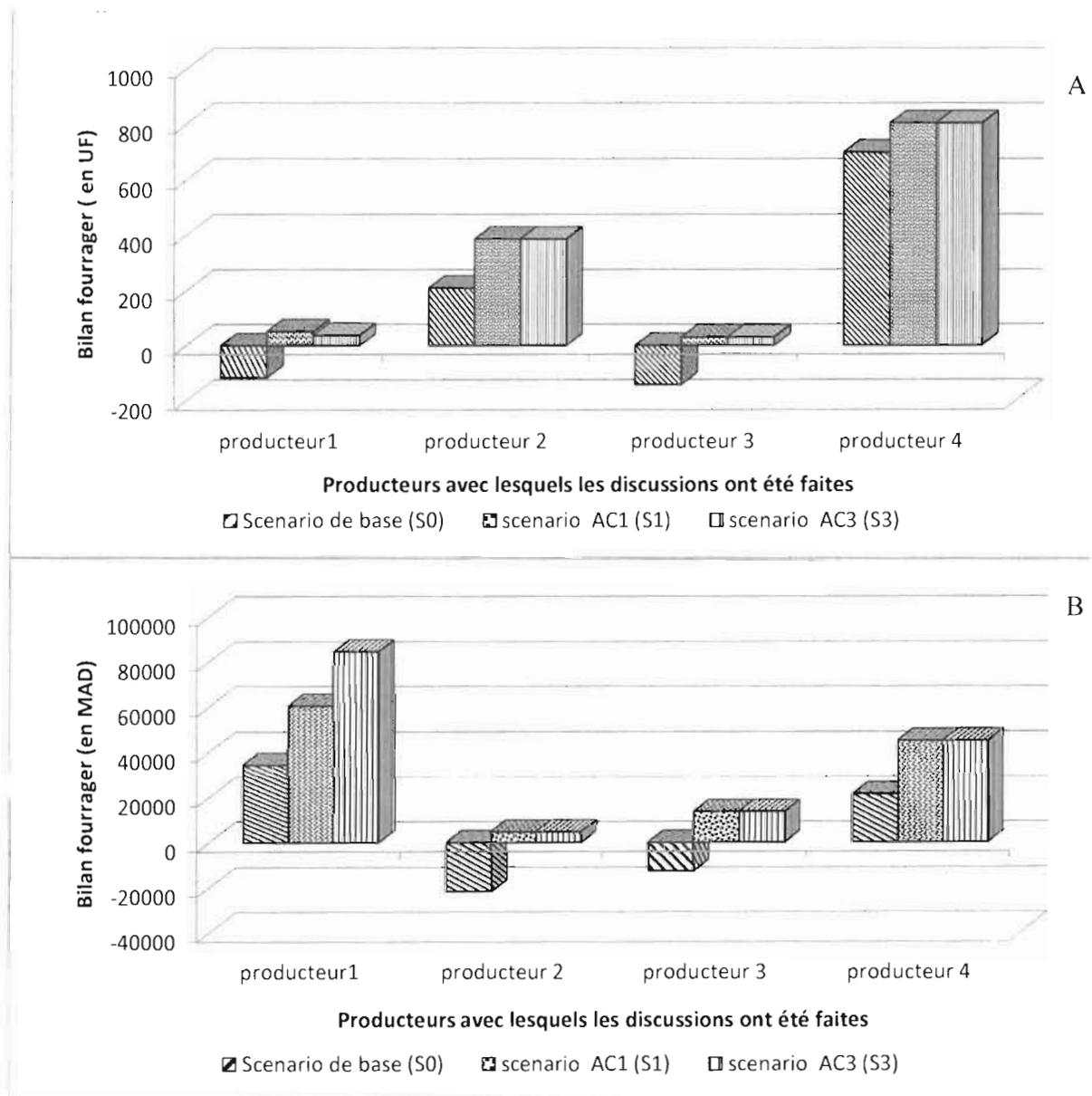
En période de saison sèche froide, pour le producteur 2, on observe aussi une réduction de la charge de travail de 7% après ajustement (scénario S3) par rapport à sa situation de base ; de telle sorte que la charge de travail globale (somme des charges de travaux des 3 périodes) sur son système de culture (Figure 22) est réduite de 5% comparée à sa situation de base. En revanche, pour les producteurs 1, 3 et 4, les charges de travaux en période de saison sèche

froide (Figure 21) pour le scénario S3 restent comme dans le cas du scénario S1, plus élevées que dans la situation de base des exploitations. Ainsi, pour ces producteurs, malgré la tendance à la baisse de la charge de travail en hivernage du fait de l'ajustement effectué, la charge de travail globale sur le système de culture des exploitations diminue par rapport scénario au S1 (Figure 22) mais reste plus élevée par rapport celle de leur scénario de base (plus 1% à 4%).



**Figure 22:** Charge totale de travail sur le système de culture des exploitations pour l'année en situation de base (S0), de scénario S1 et de scénario d'ajustement S3.

En ce qui concerne le bilan fourrager (Figure 23 A et B), pour le producteur 1, l'ajustement proposé lui permet de disposer non seulement d'assez de fourrage pour développer un atelier d'embouche, mais aussi d'obtenir un bilan fourrager (UF et MAD) positif. Pour les autres producteurs, les ajustements proposés n'entraînent pas une variation de leur bilan fourrager par rapport au scénario 1.



**Figure 23:** Bilan fourrager (UF et MAD) des exploitations pour la situation de base (S0), le scénario S1 et le scénario d'ajustement S3.

L'analyse de variance indique que le système d'AC n'a pas été préjudiciable au rendement (grain et tige du maïs) à l'intérieur des groupes identifiés ; mais le temps de désherbage requis s'est révélé être une contrainte lorsque la gestion des mauvaises herbes est uniquement manuelle. Le temps de désherbage plus important sous système AC, auquel s'ajoute le temps de semis du niébé en association, sont cependant partiellement compensés par le temps de labour, le temps de semis manuel et aussi éventuellement l'apport manuel d'engrais NPK réalisé au semis (cas du traitement Conv J0) sur le système conventionnel, de sorte qu'il n'y a pas de différence significative pour le temps de travail total entre les traitements du système AC et ceux du système conventionnel. Néanmoins, suivant qu'on apporte l'engrais NPK au semis ou 15 jours après, les temps de travaux totaux des traitements sont numériquement différents. Pour le système d'AC où l'application de l'engrais a été effectuée pendant le semis avec le semoir mécanique épandeur (traitement AC J0), le temps de travail est moins élevé que pour le traitement avec apport manuel d'engrais 15 jours après semis (AC J15). En système conventionnel, l'apport d'engrais étant manuel quel que soit le traitement, le temps de travail est plus élevé pour le traitement avec apport d'engrais au semis dans la mesure où l'engrais doit être aussi "semé" proche des poquets de maïs.

Pour les petites exploitations familiales, les premières années d'adoption de système d'AC sont le plus souvent associées à une augmentation des temps de travaux liés au désherbage lorsque ces opérations sont réalisées manuellement, mais pas quand elles sont effectuées à l'aide d'herbicide (Ekboir, 2002 ; Affholder *et al.*, 2010 ; Preface, 2012.). Ainsi, comme le notent Milder *et al.* (2011), le passage du labour au semis direct ou au travail minimum du sol est de nature à augmenter la dépendance aux herbicides ; ce qui demeure une option difficilement réalisable pour certains producteurs (Mazvimavi et Twomlow, 2009 ; Affholder *et al.*, 2010 ) à moins de rendre les herbicides disponibles à un prix abordable.

Nos résultats en termes de rendement vont dans le même sens que ceux rapportés dans des conditions agroclimatiques semblables par Naudin *et al.* (2010) et Thierfelder et Wall (2012), qui trouvent des rendements similaires ou faibles sous AC comparés à ceux du système conventionnel durant des premières années d'adoption. Avec l'amélioration des paramètres physico-chimiques et biologiques du sol au cours des années sous système d'AC (Lafond *et al.*, 2008 ; Blanco-Canqui *et al.*, 2009), les rendements sont amenés à s'améliorer progressivement. Rockström *et al.* (2009) rapportent des rendements de maïs de 20% à 120 % de plus sous AC sur 2 à 7 saisons de culture et Moussa *et al.* (2009) indiquent des rendements

moyens en maïs de l'ordre de 3,5 - 4t/ha en SCV contre 2t/ha en labour sur 6 ans d'expérimentation.

Les premières années d'AC nécessitent souvent des doses supplémentaires d'azote en début de culture, pour éviter la faim d'azote qui peut se manifester au cours de la décomposition des résidus (Erenstein, 2003 ; Sissoko, 2009 ; Nhantumbo *et al.*, 2014.). Cela pourrait expliquer le fait que pour le système AC, on observe une tendance des rendements à être plus élevés sur le traitement où l'engrais est apporté au semis (AC J0) que sur celui où l'engrais est apporté 15 jours après (AC J15). En effet, l'apport de l'engrais au semis est de nature à réduire la faim d'azote. En témoigne le fait qu'autour du 20<sup>ème</sup> jour après semis, un jaunissement des feuilles de maïs, caractéristique d'une faim d'azote a été observé au niveau du système d'agriculture de conservation, cela de façon plus marquée sur les parcelles où l'engrais NPK a été apporté 15 jours après semis.

L'expérimentation en condition réelle a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre le rendement du système d'AC expérimenté et le système conventionnel. Le suivi effectué montre que les niveaux de résidus mobilisés pour la couverture sont susceptibles d'atténuer les effets de poche de sécheresse en maintenant l'humidité du sol, mais ne sont pas suffisants pour assurer la fonction de réduction des mauvaises herbes. Dans notre contexte où l'utilisation d'herbicides est déjà observée, la promotion de l'AC pourrait intégrer l'utilisation d'herbicides de post-levée pour une gestion rapide de l'enherbement.

### **3.2.2. Implications de l'insertion de l'AC à l'échelle des exploitations**

#### **3.2.2.1. Implication sur le bilan céréalier et le solde économique**

Les répercussions d'une insertion du système d'AC expérimenté à l'échelle de l'exploitation sont variables selon les producteurs et selon l'itinéraire technique considéré. Les rendements plus faibles du système d'AC expérimenté par rapport aux productions habituellement obtenues par les producteurs (scénario de base), se traduisent par une diminution du bilan céréalier des exploitations. Si le désir de satisfaire le besoin alimentaire du ménage constitue le plus souvent la principale priorité de nombreuses petites exploitations familiales (Pannell *et al.*, 2013), le niveau d'insertion du système AC proposé n'est pas de nature à accroître le risque d'insécurité alimentaire, dans la mesure où le bilan céréalier des exploitations demeure nettement positif. Ceci demeure vrai même dans la situation où la mauvaise maîtrise de l'enherbement sur le système AC (cas du scénario S2) a entraîné une diminution notable du

rendement, et dans les situations d'ajustement du système de production impliquant une diminution de la sole en céréales (cas du scénario S3).

La baisse de rendement observée au niveau du système d'AC provoque une baisse des excédents céréaliers destinés à la vente ; à cela, s'ajoute l'achat supplémentaire d'herbicide (total et de post-levée). Cependant, la production de niébé en association dont le prix de vente est supérieur à celui du maïs, plus les économies d'achat de tourteau résultant de l'amélioration des bilans fourragers par le fourrage de qualité fourni par la fane de niébé, permet dans le cas du scénario 1, de compenser cette baisse de revenu. On obtient alors un bilan économique amélioré (plus 2 % à 7 %) pour les producteurs 2, 3 et 4. Pour le producteur 1, dont l'objectif est essentiellement d'accroître son cheptel (élevage de prestige ou contemplatif) et de satisfaire le besoin alimentaire de la famille, le solde économique résultant de sa situation de base est faible ; ainsi la contribution du niébé produit sous AC et les économies d'achats de tourteau au solde économique, est plus perceptible (plus 300 %). Dans le cas du scénario S2, avec la pression plus importante des mauvaises herbes, les rendements (maïs et niébé) sur la parcelle en AC, sont plus faibles que dans le cas du scénario S1. Ainsi, la baisse du produit brut liée à la réduction des surplus céréaliers pouvant être vendus, n'est pas compensée par les économies d'achat de tourteau et la vente de niébé produit sous AC. Le solde économique des exploitations 2, 3 et 4 se trouve alors réduit (6 % à 14 %), et le producteur 4 se retrouve dans une situation de solde économique négatif. Nos résultats vont dans le sens de ceux observés à Madagascar par Penot *et al.* (2012) et Corbeels *et al.* (2014). Ils indiquent par modélisation, que l'AC augmente significativement (6 % à 29 %) le revenu des exploitations à moyen terme (5 à 10 ans) ; à court terme par contre, ils mentionnent que cette augmentation n'est pas significative surtout pour les exploitations déjà économiquement viables. La faible augmentation du revenu à court terme n'est pas nécessairement de nature à inciter à une adoption de l'AC dans la mesure où les petites exploitations familiales ont le plus souvent une vision à court terme ; les bénéfices futurs ne font pas le poids face aux besoins immédiats (Corbeels *et al.*, 2014). Les ajustements des systèmes de production recherchés avec les producteurs dans notre contexte sont de nature à atténuer cette contrainte dans la mesure où elles offrent des pistes permettant à l'insertion de l'AC de s'accompagner d'une augmentation substantielle du solde économique des exploitations (22 % à 51 % pour les producteurs 2, 3 et 4, et plus de 900 % pour le producteur 1). En effet, la vente du sésame produit avec les ajustements (exploitations 2, 3 et 4) génère un revenu plus important que le manque à gagner dû au sorgho ou le coton, dont la

superficie a été réduite. Pour le producteur 1, cette augmentation est le résultat de la vente du bœuf d'embouche. Dans des situations où une augmentation importante du revenu peut être observée à court terme pour de petites exploitations familiales (Lai *et al.*, 2012), les auteurs soulignent que lorsque du travail hors exploitation est disponible, l'incitation économique à court terme due à la rémunération du travail temporaire est de nature à encourager les producteurs à continuer dans leurs pratiques de gestion non durable, vu que la pratique de l'AC nécessite du travail supplémentaire pour le désherbage. D'où la nécessité de mécanismes pour appuyer les producteurs dans une optique de développement à long terme de pratique bénéfique d'un point de vue économique et environnemental.

### **3.2.2.2. Implication sur la charge de travail et le bilan fourrager**

L'insertion de l'AC montre une tendance à l'augmentation de la charge de travail à l'échelle de l'exploitation.

Pour la période d'hivernage, lorsque le désherbage est uniquement manuel, le temps de gestion des mauvaises herbes est supérieur au gain de temps résultant de l'absence de préparation du sol en AC, et la charge de travail du système de culture des exploitations est nettement augmentée (plus 4% à 9%). Mais lorsque la gestion des mauvaises herbes inclut une utilisation d'herbicide de post-levée, la charge de travail résultant du désherbage est compensée par l'absence de travail pour la préparation du sol, de telle sorte que la charge de travail avec insertion de l'AC reste comparable à celle de la situation de base des exploitations (augmentation de moins de 0,5%). En saison sèche froide, on observe une augmentation de la charge de travail liée à la récolte et au transport des fanes et gousses de niébé en association sur l'AC, quel que soit le scénario d'AC (S1 ou S2). Ainsi, la charge de travail globale de l'exploitation sur le système de culture tend à augmenter avec l'insertion de l'AC. Cette situation a été évoquée par Friedrich et Kienzle (2008) qui notent que si une réduction du temps de travail lors de la préparation du sol peut être observée du fait de l'absence de labour, durant la phase d'apprentissage, des temps de travaux importants peuvent être observés pour le contrôle des mauvaises herbes sur des systèmes d'AC sans utilisation d'herbicide.

La mobilisation de la main-d'œuvre (main-d'œuvre temporaire ou main-œuvre familiale) pour faire face à l'augmentation du besoin en main-d'œuvre est difficile au cours de la période de mi-juin à août (période d'importants temps de travaux sur les exploitations) ; durant laquelle interviennent les opérations de désherbage, responsables de l'augmentation de la charge de

travail en hivernage dans les scénarios avec insertion de l'AC. Les ajustements des systèmes de production proposés par les producteurs se sont donc orientés vers des stratégies permettant de réduire la charge de travail de l'exploitation pour faciliter l'insertion de l'AC. La tendance à la baisse de la charge de travail des exploitations en hivernage avec les stratégies d'ajustement, est due à l'allègement de certaines opérations de culture. L'ampleur de cette tendance est variable suivant les ajustements proposés par les producteurs. Pour les producteurs 3 et 4 chez qui l'ajustement a concerné une diminution de la superficie de sorgho au profit du sésame, l'allègement a concerné les opérations de nettoyage et de désherbage. La réduction de la charge de travail sur ces exploitations est donc faible (moins de 0,5%). En plus des opérations de nettoyage et de désherbage, pour le producteur 1 dont l'ajustement a consisté à l'abandon du sorgho et à la réduction de la superficie de l'arachide au profit du mucuna, l'allègement a aussi concerné l'opération de semis. A cela s'ajoute l'opération de fertilisation et de traitement insecticide pour le producteur 2 dont l'ajustement proposé a été la réduction du coton au profit du sésame. C'est ce qui explique la diminution plus importante de la charge de travail pour ces producteurs (de l'ordre de 4%). La stratégie des producteurs de produire du sésame au détriment des cultures susmentionnées, dans l'objectif de réduire la charge de travail de l'exploitation, n'est toutefois réalisable qu'avec l'opportunité de marché qui existe pour cette culture et qui permet d'améliorer le revenu. Par ailleurs, la baisse de la charge de travail en hivernage, résultant des stratégies d'ajustement, ne pourrait être effective que si les résidus de culture sont produits *in situ* comme considérés dans le modèle, car la collecte et le transport de la paille lorsqu'elle n'est pas produite sur place sont source de travail supplémentaire (M'Biandoun *et al.*, 2009). Cette opération de collecte et transport peut cependant intervenir durant le mois de mai ; correspondant principalement à une période de nettoyage des parcelles où la demande en main-œuvre sur l'exploitation est faible.

En saison sèche froide, pour le producteur 2 dont l'ajustement a concerné la réduction de la superficie de coton (culture dont le temps de la récolte relativement important), la baisse de la charge de travail liée à l'ajustement est supérieure à la charge de travail lié à la récolte et au transport du niébé (fane et gousse) en association. De la baisse de la charge de travail en saison sèche froide et de la baisse de la charge de travail en hivernage, il en résulte pour ce producteur une baisse de la charge de travail globale sur le système de culture avec le scénario d'ajustement par rapport à sa situation de base (moins de 5%). En revanche, pour les producteurs 1, 3 et 4, la charge de travail liée à la récolte et au transport du niébé en association en saison sèche froide, reste supérieure à la réduction de la charge de travail lié

aux ajustements proposés par les producteurs. Ainsi, la hausse de la charge de travail en saison sèche froide, compense la réduction en hivernage de telle sorte que la charge de travail global sur le système de cultures de ces exploitations est supérieure à celle de la situation de base des exploitations (1% à 4%). Elle reste cependant moindre par rapport à la charge de travail globale en situation d'insertion d'AC sans ajustement (scénario S1 et scénario S2). L'intérêt des ajustements proposés est non seulement une baisse générale de la charge de travail de l'exploitation, mais aussi un déplacement de la charge de travail du début de l'hivernage vers la fin de l'hivernage, afin de faciliter la mise en œuvre de l'AC. En effet, les cultures comme le sésame ou le mucuna utilisées pour l'ajustement sont généralement semées tardivement, après la mise en place des autres cultures. Le développement de l'activité d'embouche par le producteur 1 pour valoriser le fourrage dû à la production supplémentaire de mucuna, est de nature à engendrer du travail supplémentaire en saison sèche chaude ; cependant, à cette période, la majorité des actifs ne sont pas occupés, cette activité n'est donc pas de nature à occasionner des contraintes particulières de temps de travail.

Avec l'obtention de fourrage de meilleure qualité (en UF et MAD) de la fane de niébé produit en association, l'introduction du système d'AC est de nature à améliorer le bilan fourrager des animaux alimentés au niveau des exploitations. Ce qui s'avère être une situation particulièrement intéressante pour le producteur 1, chez qui le nombre d'animaux alimentés avec le stock de fourrage en SSC (bœufs d'élevage considérés comme fragiles et bœufs de trait) est élevé. En effet, le bilan en UF négatif en situation de base de ce producteur devient positif dans le cas du scénario 1. Il en est de même pour le producteur 3, chez qui le stock de fourrage en situation de base qui ne couvrait pas les besoins en UF et MAD des animaux (bœufs de trait) complémentés, devient suffisant en situation de scénario S1. Par ailleurs, pour le producteur 2 dont le stock de fourrage en situation de base est constitué essentiellement de paille de riz, fourrage très pauvre en MAD, l'insertion de l'AC (scénario 1) permet de rendre positif le bilan en MAD (initialement négatif) de l'exploitation. En situation de scénario 2, le fourrage de niébé produit, reste en général insuffisant pour combler les déficits en fourrage des exploitations susmentionnées. L'ajustement du système de production proposé par le producteur 1, notamment la production de mucuna, lui permet de disposer d'un surplus fourrager pour envisager un atelier d'embouche afin d'améliorer son solde économique. Cette stratégie de production de mucuna qui est une plante de couverture promue en AC pour son potentiel de production de fourrage et de lutte contre le développement des adventices, peut

être une approche pour encourager l'insertion de l'AC et réduire la pression de la vaine pâture.

### **3.2.2.3. Implication sur le bilan minéral apparent des parcelles**

L'agriculture de conservation est reconnue comme améliorant la fertilité du sol (Thierfelder et Wall, 2010 ; Knot et Basson, 2014). Les simulations du modèle vont dans ce sens, en indiquant une amélioration du bilan minéral apparent des parcelles sous AC. En effet, la conservation des résidus de culture sur les parcelles se traduit par une faible exportation des éléments minéraux, donc de meilleurs bilans en éléments sur les parcelles. Cela est de nature à limiter à moyen terme la baisse de fertilité du sol résultant de la pratique conventionnelle mentionnée dans notre contexte (Hien *et al.*, 2002 ; Coulibaly *et al.*, 2012). Cependant, en situation de scénario S1, on note une baisse du bilan phosphaté des parcelles des producteurs, comparé à leur situation de base. Cette baisse, plus importante chez les producteurs 1, 2, et 4, peut s'expliquer par le fait que chez ces producteurs, le gain de phosphate dû à l'apport de la FO (respectivement 4,4 t/ha de déjection de bovins, 1,36 t/ha de fumier et 1,5 t/ha de fumier) sur les parcelles de maïs sous système conventionnel (scénario de base), soit supérieur au gain de phosphate dû à la conservation des résidus sur les parcelles en AC. En effet, il est considéré dans le modèle que la fumure organique n'est pas apportée sur les parcelles en AC. Cela est d'autant plausible que la teneur en phosphate de la paille de maïs (1,7 kg/t) (Pieri (1989) est relativement faible, comparée à la teneur de 4,6 kg de phosphate par tonne de fumier et de 2,5 kg de phosphate par tonne de déjection de bovins (Landais et Lhostes, 1993). Chez le producteur 3, l'apport de FO sur la parcelle de maïs étant relativement faible (0,8 t/ha de fumier), le gain de phosphate dû à la conservation des résidus sur la parcelle en AC serait proche du gain de phosphate dû à l'apport de la FO sur les parcelles sous système conventionnel, de telle sorte que les bilans soient sensiblement les mêmes entre parcelles en AC et parcelles en système conventionnel.

### **3.2.3. Expérimentation et simulation participative de scénarios d'insertion de système d'AC à l'échelle de l'exploitation : intérêt et limite de l'agriculture de conservation**

Dans la dynamique de recherche de systèmes d'AC adaptés en zone cotonnière ouest du Burkina Faso, la démarche participative d'expérimentation chez et par les paysans (Coulibaly,

2012) a été adoptée. Notre étude présente l'intérêt d'enrichir davantage l'aspect participatif de la démarche à travers des échanges avec les producteurs, soutenus par un outil de simulation qui permet de discuter avec les producteurs l'intérêt et les difficultés d'une mise en œuvre de changements proposés pour leur exploitation, et de rechercher avec eux des pistes pour atténuer les contraintes qui se présenteraient à l'adoption. Cette démarche a permis d'effectuer une analyse plus fine de l'effet de l'AC sur des exploitations réelles, en condition d'itinéraire technique réalisé par les producteurs, en y incluant leurs propres pistes d'amélioration ; allant ainsi au-delà du fait de tester l'effet de scénarios homogènes d'insertion de l'AC sur des exploitations types virtuelles (Ouedraogo, 2012). Ainsi, il ressort que si le système d'AC permet potentiellement d'améliorer les performances des exploitations, il est nécessaire d'assurer une bonne gestion notamment en termes de maîtrise rapide des mauvaises herbes (cas du scénario S1), et de l'associer à d'autres changements à l'échelle de l'exploitation comme l'introduction de culture fourragère et d'animaux d'embouche, ou de culture moins exigeante en temps de travail telle que le sésame. Les données utilisées pour calibrer le modèle pour les parcelles en agriculture de conservation sont celles obtenues par les groupes de producteurs identifiés à l'issue d'une année de mise en œuvre. Cela peut constituer une limite en terme de solidité des résultats. Mais comme le souligne Blazy (2008), il est difficile de valider des simulations pour des innovations en condition réelle des exploitations, lorsque ces innovations n'ont pas encore été mises en œuvre par les producteurs. Aussi, il faut noter que dans la démarche, le modèle constitue un support permettant de discuter avec les producteurs de la mise en œuvre de l'AC, et non un outil de prédiction. Aussi, pour les simulations, il est assumé que la biomasse pour la couverture est produite *in situ*. C'est-à-dire uniquement des résidus de culture de l'année précédente conservés sur les parcelles. Si des études ont montré qu'en condition similaire des quantités importantes de biomasses (jusqu'à 5,2 t/ha) peuvent être produites (Naudin *et al.*, 2010), il est nécessaire de protéger les parcelles sous AC contre la vaine pâture pour disposer de résidus suffisants en fin de saison de sèche (Giller *et al.*, 2009 ; Baudron *et al.*, 2012). Ce qui impliquerait un changement du mode gestion des résidus de culture à l'échelle du territoire, visant à faire reconnaître l'existence de parcelle sous AC à préserver de la vaine pâture. Mais, comme le soutiennent Valbuena *et al.* (2012) et Pannell *et al.* (2013), le coût d'opportunité de l'utilisation des résidus de cultures pour le paillage plutôt que comme aliment pour le bétail, constitue l'un des principaux facteurs tendant à décourager l'adoption de l'AC dans des conditions où elle peut être bénéfique pour les exploitations. Cette contrainte pourrait être atténuée en intégrant la

production de culture fourragère dans l'assolement des exploitations pour accompagner l'insertion de l'AC.

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

La diversité de mise en œuvre par les producteurs d'un système d'AC défini collectivement a été identifiée et ses performances évaluées. Un modèle d'exploitation a ensuite servi de support de discussions avec des producteurs pour rechercher comment ce système peut s'insérer dans leur exploitation. Trois groupes de producteurs ont été identifiés selon le mode de conduite du système d'AC expérimenté : des producteurs ayant opté d'utiliser des herbicides pour la maîtrise de l'enherbement ; des producteurs qui se sont focalisés sur le désherbage manuel avec deux opérations de désherbage, et des producteurs qui se sont focalisés sur le désherbage manuel avec une seule opération de désherbage. Le suivi à la parcelle du système d'AC a permis de valider des observations agronomiques et techniques attribués à l'AC en condition agroclimatique semblable. Ces observations sont le maintien de l'humidité du sol, des rendements équivalents à celui du système conventionnel à court terme, et le besoin d'utilisation d'herbicides pour faire face à la gestion des mauvaises herbes. Il se dégage que la gestion du système d'AC par les producteurs du premier groupe est celle ayant donné les meilleurs rendements, et engendré le temps de travail le moins important. Des discussions sur les enjeux de l'adoption de l'AC à l'échelle des exploitations, il ressort qu'avec le contexte de la vaine pâture généralisé, il est convenable pour la phase d'introduction de l'AC, que les superficies allouées à ce système sur les exploitations n'excèdent pas 0,5 ha. Les résultats de simulation indiquent que l'adoption du système d'AC permettrait non seulement d'améliorer la fertilité des sols, mais aussi d'améliorer le solde économique et le bilan fourrager des exploitations. Toutefois, cela pourrait être associée à une diminution du bilan céréalier, mais sans que cela ne soit de nature à remettre en cause l'objectif de satisfaction du besoin alimentaire familial des exploitations. Du processus de discussion avec les producteurs, il se dégage que l'utilisation d'herbicides, associé à des ajustements mineurs des systèmes de production est de nature à : (i) limiter l'augmentation de la charge de travail, souvent constatée lors de la phase d'adoption de l'AC pour les petites exploitations familiales et (ii) améliorer substantiellement le revenu des exploitations. Si des pistes d'ajustement des systèmes de production favorisant l'insertion de l'AC existent à l'échelle des exploitations, l'obtention de la biomasse pour la couverture du sol apparaît comme la principale contrainte. Pour une adoption effective de l'AC, il est nécessaire

d'inciter les producteurs à intégrer la production fourragère comme une composante à part entière du système de production des exploitations, afin de réduire la pression de la vaine pâture. En outre, il sera nécessaire de caractériser les niveaux de biomasse pouvant restées sur les parcelles selon les cultures précédentes, et déterminer pour les niveaux de biomasse observés, les doses adéquates d'herbicides pour gérer les adventices. A l'échelle du territoire, cela impliquerait un changement du mode gestion des résidus de culture, afin de faire reconnaître l'existence de parcelle sous AC.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Adjei E.O., Aikins S.H.M., Boahen P., Chand K., Dev I., Lu M., Mkrumyan V., Samaraweera S.D., Teklu A., 2003.** Combining mechanization with conservation agriculture in the transitional zone of Brong Ahafo, Ghana. International Center for Development-Oriented Research in Agriculture, Working Document Series 108. Wageningen, Netherlands: ICRA, 100 p.
- Amos R.N., Jens B.A., Symon M., 2012.** On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. *Field Crops Research* 132, 149-157.
- Andrieu N., Christophe Poix C., Etienne Josien E., 2007.** Simulation of forage management strategies considering farm-level land diversity: Example of dairy farms in the Auvergne. *Computers and Electronics in Agriculture* 55, 36-48.
- Andrieu N., Dugué P., Le Gal P.Y., Rueff M., Schaller N., Sempore A., 2012.** Validating a whole-farm modelling with stakeholders: evidence from a West African case. *J. Agr. Sci.* 4, 159-173.
- Aristide S., Andrieu N., Bayala I., 2011.** Co-conception d'innovations agropastorales assistée par un modèle à l'échelle de l'exploitation. Cas de l'emboche bovine. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 64 (1-4), 51-60.
- Attonaty J.M., Maxime F., Soler L.G., 1991.** Aid for strategic management of farms a proposed knowledge based simulation model, in: EAAE E.A.o.A.E. (Eds.), *Congrès Européen des Economistes Agricoles : Economics and artificial intelligence in agriculture.* Bruxelles (Belgique), pp. 10.
- Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L., Schaepman M.E., 2008.** Global assessment of land degradation and improvement. 1. Identification by remote sensing. Report 2008/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen, 45 p.
- Baudron F., Tittonell P., Corbeels M., Letourmy P., Giller K.P., 2012.** Comparative performance of conservation agriculture and current smallholder farming practices in semi arid Zimbabwe. *Field Crops Research* 132, 117-128.
- Baudron F., Mwanza H.M., Tiomphe B., Bwalya M., 2007.** Conservation Agriculture in Zambia: A Case Study of Southern Province, Nairobi. *African Conservation Tillage*

Network, Centre de Cooperation Internationale de Recherche Agronomique pour le Development, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 28 p.

**Blanchard M., 2005.** Relations agriculture élevage en zone cotonnière : territoire de Koumbia et waly, Burkina Faso. Mémoire DESS, Université Paris XII, Val de Marne, France, 97 p.

**Blanchard M., 2010.** Gestion de la fertilité des sols et rôle du troupeau dans les systèmes coton-céréales élevage au Mali-sud, savoirs techniques locaux et pratiques d'intégration agriculture élevage. Thèse de Doctorat, Université Paris-Est, Creteil, France, 298 p.

**Blanco-Canqui H., Stone L.R., Schlegel A.J., Lyon D.J., Vigil M.F., Mikha M.M., Stahlman P.W., Rice C.W., 2009.** No-till Induced Increase in Organic Carbon Reduces Maximum Bulk Density of Soils. *Soil Sci. Soc. Am.* 73, 1871-1879.

**Blazy J., 2008.** Evaluation ex-ante de systèmes de culture innovants par modélisation agronomique et économique : de la conception à l'adoption. Cas des systèmes de culture bananiers de Guadeloupe. Thèse de doctorat, Institut Supagro, Montpellier, France, 192 p.

**Boahen P., Dartey B. A., Dogbe G.D, Emmanuel A. B., Triomphe B., Daamgard-Larsen S., Ashburner J., 2007.** Conservation agriculture as practised in Ghana. Nairobi. African Conservation Tillage Network, Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Paris, France, 45 p.

**Carberry P.S., Hochman Z., McCown R.L., Dalgliesh N.P., Foale M.A., Poulton P.L., Hargreaves J.N.G., Hargreaves D.M.G., Cawthray S., Hillcoat N., Robertson M.J., 2002.** The FARMSCAPE approach to decision support: farmers', advisers', researchers' monitoring, simulation, communication and performance evaluation. *Agric. Syst.* 74, 141-177.

**Cardoso I.M., Guijt I., Franco F.S., Carvalho A.F., Neto P.S.F., 2001** Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil, *Agric. Syst.* 69, 235-257.

**Carmona G., 2005.** Modèle de simulation de l'agriculture d'un bassin versant : application au bassin versant d'Aveyron-Lère. Master of science, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, France, 159 p.

- Chauhan B.S., Singh R. G., Mahajan G., 2012.** Ecology and management of weeds under conservation agriculture: A review. *Crop Protection* 38, 57-65.
- Chicouène D., 1999.** Evaluation du peuplement de mauvaises herbes en végétation à la parcelle: aperçu des méthodes utilisables. *Phytoma. La défense des végétaux* 522, 22-24
- Corbeels M., Graaff J., Ndah T.H., Penot E., Baudron F., Naudin K., Andrieu N., Chirat G., Schuler J., Nyagumbo I., Rusinamhodzi L., Traore K., Mzoba H.D., Adolwa I.S., 2014.** Understanding the impact and adoption of conservation agriculture in Africa: A multi-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187, 155-170.
- Corbeels M., 2011.** Impact and adoption of conservation agriculture in Africa: a multi-scale and multi-stakeholder analysis. In: *World Congress on Conservation Agriculture*, 26–29 September 2011, Brisbane, Australia.
- Coulibaly K., 2012.** Analyse des facteurs de variabilité des performances agronomiques et économiques des cultures et de l'évolution de la fertilité des sols dans les systèmes culturaux intégrant les légumineuses en milieu soudanien du Burkina Faso : approche expérimentale chez et par les paysans. Thèse de doctorat. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 149 p.
- Coulibaly K., Vall E., Autfray P., Nacro H.B., Sedogo P.M., 2012.** Effets de la culture permanente coton-maïs sur l'évolution d'indicateurs de fertilité des sols de l'Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6 (3), 1069-1080.
- Dabiré D., Andrieu N., Diallo A.M., Coulibaly K., Posthumus H., Patrice Djamen P., Triomphe B., 2013.** Concevoir une plateforme d'innovation multi-acteurs autour de l'Agriculture de Conservation (AC) au Burkina. Communication Présentée au séminaire ASAP. Plateformes d'innovation et intensification écologique 2 à 3 décembre 2013, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- Derpsch R., 2001.** Conservation tillage, no-tillage and related technologies. In: Garcia-Torres, L., Benites, J., Martinez-Vilela, A. (Eds.), *1st World Congress on Conservation Agriculture*, vol. 1: Keynote Contributions. FAO, Rome, Italy, pp. 161-170.
- Dogliotti S., van Ittersum M.K., Rossing W.A.H., 2005.** A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agric. Syst.* 86, 29-51.
- Domas R., Penot E., Andriamalala H., Chabierski S., 2008.** When uplands join the rice fields in lake Alaotra. *Agriculture conservation diversification and innovation on upland*

## 3.2. Discussion

### 3.2.1. Performances agronomiques et techniques de l'AC à l'échelle de la parcelle

Les mesures d'enherbement effectuées montrent un enherbement plus important sur les parcelles d'AC par rapport aux parcelles en agriculture conventionnelle et cela de façon plus importante lorsque la gestion des mauvaises herbes est exclusivement manuelle. Ce fait a été observé dans de nombreux pays dans le développement de système d'AC avec la réduction du travail du sol qui ne permet pas d'enfouir les graines de mauvaises herbes (Shetto et Owenya ,2007; Chauhan *et al.*, 2012 ; Mashingaidze *et al.*, 2012). Cela est lié aux faibles quantités de biomasses utilisées comme couverture et aussi à l'hétérogénéité du niveau de couverture à la surface du sol ; ce qui ne permet pas d'assurer la fonction de réduction des mauvaises herbes. Si l'une des fonctions du *mulch* en agriculture de conservation est de réduire la germination et le développement des mauvaises herbes, les faibles quantités de biomasses peuvent par contre favoriser le développement des adventices en conservant l'humidité du sol (Mohler et Teasdale, 1993). C'est ce qui a vraisemblablement été observé dans notre étude, car les courbes de profils hydriques indiquent que l'humidité du sol sous AC est globalement meilleure que sous le système conventionnel. Aussi, les niveaux de biomasse observés pour la couverture du sol sur les parcelles ont été en général en dessous de la quantité de 7 t/ha indiquée comme capable d'empêcher le développement des adventices en absence d'utilisation d'herbicides (Affholder *et al.*, 2010). Pour les producteurs du groupe 1 qui ont pu contrôler rapidement le développement des mauvaises herbes par un herbicide de post-levée sélectif, le constat est que l'enherbement sur le système d'AC est moindre. Chez les producteurs du groupe 3, l'enherbement plus important sur le système conventionnel par rapport au système AC, observé entre 15 à 20 jours après semis, est la cause de labour de mauvaise qualité qui n'a pas permis d'enfouir les mauvaises herbes lors de la préparation du sol.

Les meilleurs taux d'humidité observés sous AC concordent avec les observations de Thierfelder et Wall (2009) en Zambie et au Zimbabwe, qui trouvent qu'avec la rétention des résidus de culture, l'humidité du sol est en moyenne plus importante durant toute la saison de culture sous AC que sous système conventionnel de labour. En effet, il à été montré par Erenstein (2003) et Findeling *et al.*, (2003) que le *mulch* améliore l'efficacité de l'utilisation de l'eau de pluie en favorisant l'infiltration et en réduisant les pertes par évaporation ; ainsi, l'eau est maintenue dans le profil du sol et est potentiellement disponible pour la plante.

zones. in Regional workshop on conservation agriculture, 28/10 à 1/11 2008., Phonsavanh, Lao PDR 25 p.

**Dongmo A.L., DJamen P., Vall E., Koussoumo M.O., Coulibaly D., Lossouarn J., 2007.**

L'espace est fini ! Vive la sédentarisation ? Innovations et développement durable en question chez les pasteurs des zones cotonnières d'Afrique de l'ouest et du centre. Renc Rech. Ruminants 14, 153-160.

**Ekboir J., Boa K., Dankyi A.A., 2002.** Impacts of No-Till Technologies in Ghana. D.F.

CIMMYT, Mexico, 32 p.

**Erenstein O., 2003.** Smallholder conservation farming in the tropics and sub-tropics: a guide

to the development and dissemination of mulching with crop residues and cover crops. Agriculture, Ecosystems and Environment 100, 17-37.

**Faure G., Penot E., Rakotondravelo C. J., Ramahatoraka A.H., Dugue P., Toillier A.,**

**2013.** Which Advisory System Support Innovation in Conservation Agriculture? The Case of Madagascar's Lake Alaotra // Journal of Agriculture Education and Extension. Vol. 19. No. 3: 257-270.

**Fisher J., Tozer P., Abrecht D., 2012.** Livestock in no-till cropping systems – a story of

trade-offs. Animal Production Science 52, 197 – 214.

**Florentin M.A., Peñalva M., Calegari A., Rolf Derpsch R., 2010.** Green manure/cover

crops and crop rotation in conservation agriculture on smalls Farm. Integrated Crop Management Vol.12, 103 p.

**Gbakatchetche H., Sanogo S., Camara M., Bouet A., Keli J.Z., 2010.** Effet du paillage par

des résidus de pois d'angole (*Cajanus cajan* L.) sur le rendement du riz paddy (*Oryza sativa* L) pluvial en zone forestière de Côte d'Ivoire. Agronomie Africaine 22 (2), 131-137.

**Giller K.E., Witter E., Corbeels M., Tittonell P., 2009.** Conservation agriculture and

smallholder farming in Africa: the heretics' view. Field Crop. Res. 114, 23-34.

**Giller K., Corbeels M., Nyamangara J., Triomphe B., Affholder F., Scopel E., Tittonell**

**P., 2011.** A research agenda to explore the role of conservation agriculture in African smallholder farming systems. Field Crops Research 124, 468-472.

**Goddard T., Zoebisch M.A., Gan Y.T., Ellis W., Watson A., Sombatpanit S. (Eds.), 2008.**

No-Till Farming Systems. Special Publication No. 3. World Association of Soil and Water Conservation (WASWC), Bangkok, 539 p.

**Haggblade S., Tembo G., 2003.** Early evidence on conservation farming. Paper Prepared for the International Workshop on Reconciling Rural Poverty and, Resource Conservation: Identifying Relationships and Remedies, 2-3 May 2003. Cornell University, Ithaca, NY, USA 30 p.

**Hien E., Ganry F., Hien V., Olivier R., 2002.** Dynamique du carbone dans un sol de savane du Sud-ouest Burkina sous l'effet de la mise en culture et des pratiques culturales. *In* : Jamin J.Y., Seiny B.L., Floret C. (eds), « Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis ». Actes du colloque, Mai, 2002.

**INSD, 2007.** Résultats préliminaires du recensement général de la population (RGPH) de 2006 au Burkina Faso, 51 p.

**Kassam A., Friedrich T., Derpsch R., Lahmar R., Mrabete R., Basch G., Emilio J.G., Serraj R., 2012.** Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. *Field Crops Research* 132, 204-212.

**Kassam A., Friedrich T., Shaxson F., Pretty J., 2009.** The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. *International Journal of agriculture sustainability* 7(4), 292-320.

**Kassam A., Kueneman E., Kebe B., Ouedraogo S., Youdeowei A., 2010.** Enhancing Crop/Livestock Systems in Conservation Agriculture for Sustainable Production Intensification: A Farmer Discovery Process Going to Scale in Burkina Faso, *Integrated Crop Management Vol.7-2009*, FAO, Rome, Italie, 42 p.

**Kaumbutho P., Kienzle J., 2007.** Conservation agriculture as practiced in Kenya: two case studies. Nairobi. African Conservation Tillage Network, Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Paris, France, 109 p.

**Knot J., Basson A.L., 2014.** Soil organic carbon build-up on soils under NT variants in semi-arid Districts of South Africa and Lesotho. *In* Book of Condensed Papers Of the First Africa Congress on Conservation Agriculture 18-21st March, 2014, Lusaka, Zambia, PP 262-265.

**Knowler D., Bradshaw B., 2007.** Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy* 32, 25-48.

- Lafond G.P., Walley H., Schoenau J., May W.E., Holzapfel C.B., McKell, J., Halford J., 2008.** Long-term vs. short-term conservation tillage. In: Proceedings of the 20th Annual Meeting and Conference of the Saskatchewan Soil Conservation Association, 12–13 February, Regina, Saskatchewan, pp. 28-43.
- Landais E., Lhostes P., 1993.** Systèmes d'élevage et transfert de fertilité dans la zone des africaines. Cahiers agricultures 2, 9-25.
- Langeveld J.W.A., van Keulen H., de Haan J.J., Kroonen-Backbier B. M. A., Oenema J., 2005.** The nucleus and pilot farm research approach: experiences from The Netherlands. Agric. Syst. 84, 227-252.
- M' biandoun M., Dongmo A. L., Balarabe O., Nchoutnji I., 2009.** Systèmes de culture sur couverture végétale en Afrique Centrale: conditions techniques et socioéconomiques pour son développement. L. Seiny-Boukar, P. Boumar (eds), 2010. Actes du colloque Savanes africaines en développement : innover pour durer, 20-23 avril 2009, Garoua, Cameroun. Prasac, N'Djaména, Tchad ; Cirad, Montpellier, France, cédérom.
- Mashingaidze N., Madakadze C., Twomlow S., Nyamangara J., Hove L., 2012.** Crop yield and weed growth under conservation agriculture in semi-arid Zimbabwe. Soil & Tillage Research 124, 102-110.
- Mazvimavi K., Twomlow S. J., Belder P. Howe, L., 2008.** An assessment of the sustainable uptake of conservation farming in Zimbabwe. Global Theme on Agroecosystems Report n° 39. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Bulawayo, Zimbabwe, 60 P.
- Mazvimavi K., Twomlow S., 2009.** Socioeconomic and institutional factors influencing adoption of conservation farming by vulnerable households in Zimbabwe. Agricultural Systems 101 (1-2), 20-29.
- Milder J.C., Majanen T., Scherr S.J., 2011.** Performance and Potential of Conservation Agriculture for Climate Change Adaptation and Mitigation in Sub-Saharan Africa. An assessment of WWF and CARE projects in support of the WWF-CARE Alliance's Rural Futures Initiative. Final Report, 90 p.
- Mloza-Banda H.R., Nanthambwe S.J., 2010.** Conservation agriculture program and projects in Malawi: impacts and lessons. National Conservation Agriculture Task Force Secretariat, Land Resources Conservation Department, Lilongwe, Malawi, 118 p.

- Moussa N., Andrianaivo A.P., Michellon R. 2009.** Amélioration des systèmes de culture et lutte contre le *Striga asiatica* dans le Moyen Ouest. Actes de l'atelier national sur la recherche et le développement du riz pluvial à Madagascar, 14 et 15 octobre 2009, Antananarivo, pp. 39-42.
- Naudin K., Goze E., Balarabe O., Giller K. E., Scopel E., 2010.** Impact of no tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon: A multi-locational on-farm assessment. *Soil & Tillage Research* 108, 68-76.
- Ndour A., Gueye M., Pereau G., Martin P., Clouvel P., 2006.** Développement d'un outil de simulation de la croissance du cotonnier ouvert à l'expertise de l'utilisation. *Cahiers Agricultures* 15(1), 85-91.
- Nhantumbo N., Dias J., Mortlock M., Nyagumbo I., Dimes J., Rodriguez D., 2014.** Best-fit residue allocation: A gate for legume intensification in nitrogen constrained cropping systems of Central Mozambique *In Book of Condensed Papers Of the First Africa Congress on Conservation Agriculture* 18-21 st March, 2014, Lusaka Zambia, pp 33-36.
- Nyende P., Nyakuni A., Opio J.P., Odogola W., 2007.** Conservation agriculture: a Uganda case study. Nairobi. African Conservation Tillage Network, Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Paris, France, 29 p.
- Ouedraogo Y., 2012.** Analyse « ex-ante » des effets de l'agriculture de conservation sur le fonctionnement et les performances technico-économiques des exploitations agricoles à l'aide de la modélisation : cas de Koumbia. Mémoire d'ingénieur agronome du développement rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 53 p.
- Pacini C., Wossink A., Giesen G., Huirne R., 2004.** Ecological-economic modelling to support multi-objective policy making: a farming systems approach implemented for Tuscany. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 102, 349-364.
- Penot E., Macdowall C., Domas R., 2012.** Modeling impact of Conservation Agriculture adoption on farming systems agricultural incomes. The case of lake Alaotra Region, Madagascar. *In: Proceedings of the RIME-PAMPA/CA2AFRICA project, IFSA, 1-4 July 2012, Arhus, Denmark, pp 1-9.*
- Preface, 2012.** Conservation agriculture in dry areas. *Field Crops Research* 132, 1-6

- Rockström J., Kaumbutho P., Mwalley J., Nzabi A.W., Temesgen M., Mawenya L., Barron J., Mutua J., Damgaard-Larsen S., 2009.** Conservation farming strategies in East and Southern Africa: Yields and rain water productivity from on-farm action research *Soil & Tillage Research* 103, 23-32.
- Schaller N., 2008.** Analyse et modélisation des relations agriculture-élevage au sein d'exploitations cotonnières dans l'Ouest du Burkina-Faso. Mémoire d'ingénieur agronome, AgroParisTech, Montpellier, France, 108 p.
- Scherr, S.J., Yadav S., 1996.** Land Degradation in the Developing World: Implications for Food, Agriculture, and the Environment to 2020, Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 14, Washington, D.C. International Food Policy Research Institute, 29 p.
- Sedogo P.M., 2008.** Etude sur la capitalisation des technologies en matière d'amélioration de la fertilité des sols dans les zones cotonnières du Burkina Faso. Rapport final, Union Nationale des Producteurs de Coton du Burkina Faso (UNPCB), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, p. 51.
- Sempore A., 2010.** Validation d'un modèle de simulation du fonctionnement de l'exploitation coton-céréales-élevage dans l'Ouest du Burkina Faso. Diplôme d'étude approfondie (DEA), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 58 p.
- Shetto R., Owenya M., 2007.** Conservation agriculture as practised in Tanzania: three case studies. Nairobi. African Conservation Tillage Network, Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Paris France, 146 p.
- Sims B., Friedrich T., Kassam A., Kienzle J., 2009.** Agroforestry and Conservation Agriculture: Complementary practices for sustainable development. II World Congress of Agroforestry 23-28 August 2009, Nairobi, Kenya, 17 p.
- Sissoko F., 2009.** L'Agriculture de conservation peut-elle être une alternative à l'agriculture conventionnelle en zone cotonnière au sud du Mali ? *Les cahiers de l'Economie Rurale* 7, 11-22
- Sissoko F., Autfray P., 2008.** Rapport de recherche de la campagne 2007-2008. Sikasso (Mali), Projet PASE-SCV, IER/CIRAD, 30 p.

- Smaling E.M.A., 1993**, Appauvrissement du sol en nutriments de l'Afrique sub-saharienne. *In*: Van Reuler H. & W. H Prins (ed): Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique Sub-saharienne, ISBN: 90-801673-2-0, Leidschendam, Pays-Bas, Ponon&Looijen, Wageningen, PP 59-76.
- Stoorvogel J.J., Bouma J., Orlich R.A., 2004**. Participatory Research for Systems Analysis: Prototyping for a Costa Rican Banana Plantation, *Agron J.* 96, 323-336.
- Thierfelder C., Bunderson W.T., Mupangwa W., 2014**. Lessons from long-term Conservation Agriculture research in Southern Africa: Examples from Malawi and Zimbabwe. In Book of Condensed Papers Of the First Africa Congress on Conservation Agriculture 18-21 st March, 2014, Lusaka Zambia, pp 137-140.
- Thierfelder C., Wall P.C., 2009**. Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe. *Soil & Tillage Research* 105, 217-227.
- Thierfelder C., Wall, P.C., 2010**. Rotations in conservation agriculture systems of Zambia: Effects on soil quality and water relations. *Experimental Agriculture* 46, 309-325.
- Thiombiano L., Meshack M., 2009**. Scaling-up conservation agriculture in Africa: strategy and approaches. FAO Subregional Office for Eastern Africa, Addis Ababa, 29 p.
- Tittonell P., Scopel E., Andrieu N., Posthumus H., Mapfumo P., Corbeels M., Van Halsema G.E., Lahmar R., Lugandu S., Rakotoarisoa J., Mtambanengwe F., Pound B., Chikowo R., Naudin K., Triomphe B., Mkomwa S., 2012**. Agroecology-based aggradation-conservation agriculture (ABACO): Targeting innovations to combat soil degradation and food insecurity in semi-arid Africa. *Field Crops Research* 132, 168-174.
- Traoré O., Koulibaly B., Dakuo D., 2007**. Effets comparés de deux formes d'engrais sur les rendements et la nutrition minérale en zone cotonnière au Burkina Faso. *Tropicicultura*, 25(4): 200-203.
- Twomlow S.J., Urolov J.C., Oldrieve B., Jenrich M., 2008**. Lessons from the field-Zimbabwe's conservation agriculture task force. *Journal of SAT Agricultural Research* 6, 1-11.
- Vall E., 2004**. Proposition de zonages agropastoraux de l'Ouest du Burkina Faso et de la province de Houet. Bobo-dioulasso, Burkina Faso, Cirades-Urpan, 70 p.

**Vereijken P., 1997** A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms, *Eur. J. Agron.* 7, 235-250.

**Versteeg M.N., Amadji F., Eteka A., Houdékon V., Manyong V.M., 1998.** Collaboration to increase the use of *Mucuna* in production systems in Bénin. *In* *Plantes de couverture en Afrique de l'Ouest, une contribution à l'agriculture durable*. Ed. D. Buckles, A. Eteka, O. Osiname, M. Galiba, G. Galiano, Crdi, Ottawa, Canada, pp. 33-44.

**Wall, P.C., 2007.** Tailoring conservation agriculture to the needs of small farmers in developing countries: an analysis of issues. *Journal of Crop Improvement* 19, 137-155.

## WEBOGRAPHE

**Andrieu N., Dugué P., Le Gal P.Y., Schaller N., 2010.** Modéliser le fonctionnement d'exploitations agricoles de polyculture élevage pour une démarche de conseil. Cas de la zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso. L. Seiny-Boukar, P. Boumard (eds.). *Savanes africaines en développement : innover pour durer*, Apr 2009, Garoua, Cameroun. Cirad, 10 p. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/cirad-00471483/document>, consulté le 10/03/14).

**CFU (Zambian Conservation Farming Unit.), 2010.** ([www.conservationagriculture.org](http://www.conservationagriculture.org)., consulté le 25/04/14).

**FAO, 1994.** Land degradation in south Asia: Its severity, causes and effects upon the people. *World Soil Resources Reports*, March 1994, Rome, Italy. (<http://www.fao.org/docrep/v4360e/v4360e00.HTM>, consulté le 24/02/15).

**FAO, 2002.** First Meeting of Technical Advisory Group for LADA - *FAO*, January 2002, Rome. (<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/lada/stocking>, consulté le 23/03/15).

**Friedrich T., Derpsch R., Kassam A., 2012.** Overview of the Global Spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports Special Issue* 6, 2012. (<http://factsreports.revues.org/1941>, consulté le 08/11/13).

**Mannava V.K.S., Ndegwa N., 2007.** *climate and Land Degradation*. Springer Science & Business Media. , Berlin, 623 p. (<http://books.google.bf/books>, consulté 24/02/15).

**Manyong V.M., Houndékon V.A., Sanginga P. C., Vissoh P., Honlonkou A.N., 1999.** *Mucuna fallow diffusion insouthern Benin*. IITA, Ibadan, Nigeria. (<http://http://iita.titaninternet.co.uk>, consulté le 15/12/13).

**Naudin K., Balarabé O., Aboubakary, 2005.** Système de culture sur couverture végétale : résultats de la campagne 2004. Projet ESA-SDCC, Nord Cameroun. 65 p. (<http://agroécologie.cirad.fr>, consulté le 15/05/13)

**Serpentié G., 2009.** L'agriculture de conservation à la croisée des chemins en Afrique et à Madagascar, In Vertigo, la revue électronique en sciences de l'environnement 9 (3). (<http://vertigo.revues.org/9290>, Consulté le 20/10/13).

# ANNEXE

## Annexe 1 : Fiche d'enregistrement des opérations culturales

Fiche d'enregistrement des opérations culturales AC et Conv												
	Traitement conventionnel (Maïs pur/ <i>Kaba</i> )						Traitement AC <i>Gnagagnaga sénin (Kaba /soso dian)</i>					
	Date <i>Lon</i>	Quantité (unité) <i>Akè</i>	Nbre de personne <i>Mogo Akè</i>	Temps de travail (mn ou h) <i>Bara mè wagati</i>	Outil utilisé <i>Bara minan</i>	Dépenses <i>Musaka</i>	Date <i>Lon</i>	Quantité (unité) <i>Akè</i>	Nbre de personne <i>Mogo Akè</i>	Temps de travail (mn/h) <i>Bara mè wagati</i>	Outil utilisé <i>Bara minan</i>	Dépenses <i>Musaka</i>
<i>Umagafine -so defiani</i> Apport de biomasse												
<i>Foro sénin</i> Labour												
<i>Duni</i> Semis						Mais <i>Kaba</i>						
						niébé <i>Soso dian</i>						

Fiche d'enregistrement des opérations culturales AC et Conv

	Traitement conventionnel (Maïs pur/ <i>Kaba</i> )						Traitement AC <i>Gnagagnaga sénin (Kaba /soso dian)</i>					
	Date <i>Lon</i>	Quantité (unité) <i>Akè</i>	Nbre de personne <i>Mogo Akè</i>	Temps de travail (mn ou h) <i>Bara mè wagati</i>	Outil utilisé <i>Bara minan</i>	Dépenses <i>Musaka</i>	Date <i>Lon</i>	Quantité (unité) <i>Akè</i>	Nbre de personne <i>Mogo Akè</i>	Temps de travail (mn/h) <i>Bara mè wagati</i>	Outil utilisé <i>Bara minan</i>	Dépenses <i>Musaka</i>
<i>Dani tougon</i> Résemis							Mais <i>Kaba</i>					
							niébé <i>Soso dian</i>					
<i>Biu faga</i> <i>fura</i> Herbicide total												
<i>Biu fura</i> <i>collé</i> Herbicide sélectif												
<i>Dani wolama</i> Démarriage		X							X			

## Annexe 2 : Fiche de discussion avec les producteurs

### Première séance : Présentation des observations faites au cours de l'expérimentation

Nom et Prénom du producteur :

#### 1. Récapitulatif des activités de l'exploitation

Ressource de l'exploitation			
Famille	Nombre de bouches à nourrir		
	Nombre d'actifs		
Equipement	Nombre de charrues		
	Nombre de l'IR12		
	Nombre charrette		
	Nombre fosse compostière (loca. capacité)	En char. petit plateau	
	Nombre fosse fumière (loca. capacité)	En char. petit plateau	
	Nombre pac (loca. capacité)	En char. petit plateau	

Animaux sur l'exploitation			
Lot	Propriétés (nbre)	confiés de l'ext.	Confié à l'ext.
BdT			
Bovins d'élevage			
-moutons			
-chèvres			
Anes			

**Plan parcellaire** (principales cultures localisation, distance, tenure foncière)

Champs	Localisation (distance)	Type de tenure foncière	
1			
2			
3			
4			
5			

	Assolement			
	Superficie totale (ha)		Rend.grain	Rend. Paille/fane
Agriculture conventionnelle	Nombre d'hectares de coton			
	Nombre d'hectares de maïs			
	Nombre d'hectares de sorgho			
	Nombre d'hectares de mil			
	Nombre d'hectares de riz			
	Nombre d'hectares de d'arachide			
	Nombre d'hectares de niébé			
	Nombre d'hectares de cultures fourragères			

### Rotations des cultures

Champs	Culture 2014	2013	2012	2011
1				
2				
3				
3				
4				

- 2. Définition/identification avec le producteur des Objectifs globaux :** (gain de revenu, satisfaction alimentaire, augmentation du troupeau et/ou fourniture satisfaisante de fourrage) et **de la stratégie** (assolement, nombre de bovins et système d'élevage notamment c'est-à-dire, dominance de bœufs de traits, de bovins d'élevage ou bœuf d'embouche)

#### Questions

- Quelles cultures privilégiez-vous dans votre assolement (coton, maïs, sorgho, mucuna, autre) et pourquoi ?
- Comment choisissez-vous les cultures et les superficies associées (vente, niveau de besoin familial et besoins fourrager, en fonction de la main d'œuvre familiale) ?
- Contrainte et points forts de l'exploitation : i) structure (équipement, Bdt, autres), ii) économique (achat engrais/ herbicide, etc, iii) main d'œuvre (disponibilité par saison, parcelle éloignée ou non) et problèmes rencontrés sur les parcelles
- Objectifs et contraintes à l'échelle de la parcelle (en dehors de l'objectif de rendement) ; au vu des rotations et ITK des cultures.

**Exemple d'objectifs:** optimiser fertilité physique et/ou chimique ; optimiser l'alimentation minérale et/ou hydrique ; contrôler les adventices, ne pas augmenter ou réduire les temps de travaux.

**Exemple de contraintes :** érosion, parcelle éloignée (pour apport de MO), organisation du travail (main d'œuvre, éloignement parcelle), etc.,

### 3. Présentation de L'ITK de l'expérimentation des 3 groupes

#### L'ITK du groupe 1

	Système AC			Système conventionnel		
	Conduite (Oui/non, modalité)	Période	Quantité ou type	opération	Période	Quantité Ou type
<b>Mode gestion avant semis</b>						
Couverture résidus						
Trait. Herb. Total						
Labour		-			-	
Trait. Herb. prélev.					-	
<b>Semis</b>						
Culture principale						
Culture associée						
Densité cult.principale*						
Densité secondaire* clt.						
<b>Fertilisation</b>						
NPK 0 JAS (semis)						
NPK 15 JAS						
Nbr apportNPK 0 JAS						
Nbr apportNPK 15JAS						
Urée						
<b>Entretien</b>						
1 <sup>er</sup> désherbage chim/man ?						
2 <sup>eme</sup> chim/man ? désherbage						
Buttage						
<b>Récolte</b>						
Rdt grain maïs NPK 0 JAS						
Rdt grain maïs NPK 15 JAS						
Rdt paille maïs NPK 0 JAS						
Rdt paille maïsNPK 15 JAS						
Rdt fane niébé NPK 0 JAS						
Rdt fane niébéNPK 15 JAS						

-Présenter les densités sous forme d'écartement entre poquets ; l'écartement entre ligne étant de 0,80 et ensuite donné la correspondance en nombre de pieds/ha.

**Fiche d'enregistrement des opérations culturales AC et Conv**

	Traitement conventionnel (Maïs pur/ <i>Kaba</i> )						Traitement AC <i>Gnagagnaga sénin (Kaba /oso dian)</i>					
	Date <i>Lon</i>	Quantité (unité) <i>Akè</i>	Nbre de personne <i>Mogo Akè</i>	Temps de travail (mn ou h) <i>Bara mè wagati</i>	Outil utilisé <i>Bara minan</i>	Dépenses <i>Musaka</i>	Date <i>Lon</i>	Quantité (unité) <i>Akè</i>	Nbre de personne <i>Mogo Akè</i>	Temps de travail (mn/h) <i>Bara mè wagati</i>	Outil utilisé <i>Bara minan</i>	Dépenses <i>Musaka</i>
<i>Nogo fin don</i> Applicat. Engrais NPK												
<i>Nogo gwe don</i> Applicat. urée												
<i>Houe manga don</i> Sarclage		X						X	X	X	X	X
<i>Boto chémin</i> Désherbage manuel		X						X	X	X	X	X
<i>Butage</i> Buttage		X						X	X	X	X	X
<i>Kaba cari</i> Récolt e matis e grain							Maïs <i>Kaba</i>					

**Fiche d'enregistrement des opérations culturelles AC et Conv**

	Traitement conventionnel (Maïs pur/ Kaba )						Traitement AC <i>Gnagnagna sénin (Kaba /soso dian)</i>						
	Date <i>Lon</i>	Quantité (unité) <i>Akè</i>	Nbre de personne <i>Mogo Akè</i>	Temps de travail (mn ou h) <i>Bara mè wagati</i>	Outil utilisé <i>Bara minan</i>	Dépenses <i>Musaka</i>	Date <i>Lon</i>	Quantité (unité) <i>Akè</i>	Nbre de personne <i>Mogo Akè</i>	Temps de travail (mn/h) <i>Bara mè wagati</i>	Outil utilisé <i>Bara minan</i>	Dépenses <i>Musaka</i>	
								niébé <i>Soso dian</i>					
<i>Kala tiguè</i> Récolte maïs tiges													
<i>Soso dian fureburu tiguè</i> Récolte fourrage niébé													
<i>Soso dian fureburu tiguè</i> Récolte niébé grain													

## L'ITK du groupe 2

	Système AC			Système conventionnel		
	Conduite (Oui/non)	Période	Quantité ou type	opération	période	Quantité
<b>Mode gestion avant semis</b>						
Couverture résidus						
Trait. Herb. total						
Labour						
Trait. Herb. prélev.						
<b>Semis</b>						
Culture principale						
Culture associée						
Densité cult.principale						
Densité cult. secondaire						
<b>Fertilisation</b>						
NPK 0 JAS (au semis)						
NPK 15 JAS						
Nbr apportNPK 0 JAS						
Nbr apportNPK 15 JAS						
Urée						
<b>Entretien</b>						
1 <sup>er</sup> désherbage chim/man ?						
2 <sup>eme</sup> désherbage chim/man ?						
Buttage						
<b>Récolte</b>						
Rdt grain maïs NPK 0 JAS						
Rdt grain maïs NPK 15 JAS						
Rdt paille maïs NPK 0 JAS						
Rdt paille maïs NPK 15 JAS						
Rdt fane niébé NPK 0 JAS						
Rdt fane niébé NPK 15 JAS						

### L'ITK du groupe 3

	Système AC			Système conventionnel		
	Conduite (oui/non)	période	Quantité ou type	Opération	période	Quantité/type
<b>Mode gestion avant semis</b>						
Couverture résidus						
Trait. Herb. total						
Labour						
Trait. Herb. prélev.						
<b>Semis</b>						
Culture principale						
Culture associée						
Densité cult.principale						
Densité cult. secondaire						
<b>Fertilisation</b>						
NPK 0 JAS(au semis)						
NPK 15 JAS						
Nb apportNPK 0JAS						
Nb apportNPK 15JAS						
Urée						
<b>Entretien</b>						
1 <sup>er</sup> désherbage chim/man ?						
2 <sup>eme</sup> désherbage chim/man ?						
Buttage						
<b>Récolte</b>						
Rdt grain maïs NPK 0 JAS						
Rdt grain maïs NPK 15 JAS						
Rdt paille maïs NPK 0 JAS						
Rdt paille maïs NPK 15 JAS						
Rdt fane niébé NPK 0 JAS						
Rdt fane niébé NPK 15 JAS						

-Que pensez-vous (avantages et contraintes) des ITKs chaque groupe pour chaque système ?

NB : Exemple de contrainte/ à l'inverse peuvent des avantages : Pas de maintien de fertilité chimique ou physique (à court et moyen terme), pas de bonne nutrition minérale/hydrique, mauvaise gestion des adventices (mauvaises périodes de désherbage, peu ou trop d'herbicides appliqués)

Réponse concernant l'ITK pour chaque groupe

.....

Réponse concernant les rendements pour chaque groupe

.....

- Quelles sont les implications (interaction) possibles de la mise en œuvre de tels ITKs (groupe 1, 2 et 3) sur la gestion de la parcelle; des autres parcelles ou autres activités de l'exploitation (problème de disponibilité ou d'allocation de matériels, coïncidence de date d'opération avec celles d'autres parcelles, difficulté de gestion de la biomasse) ?

#### 4 Présentation des temps de travaux de l'expérimentation des 3 groupes

Temps de travaux du Groupe1 (homme-jour/ha)

	Système AC		Système conventionnel	
	AC 0 JAS	AC 15 JAS	Conv. 0 JAS	Conv. 15 JAS
<b>Mode gestion avant semis</b>				
Couverture résidus				
Trait. Herb. total				
Labour				
Trait. Herb. prélev.				
Temps total				
<b>Semis</b>				
Culture principale				
Culture associée				
Ressemis cult.principale				
Ressemis cult.associée				
Temps total				
<b>Fertilisation</b>				
NPK au semis				
NPK 15 JAS				
Urée				
Temps total				
<b>Entretien</b>				
1 <sup>er</sup> désherbage				
2 <sup>eme</sup> désherbage				
3 <sup>eme</sup> désherbage				
Buttage				
Temps total				
<b>Récolte</b>				

Rlt grain maïs NPK 0 JAS				
Rlt grain maïs NPK 15 JAS				
Rlt fane niébé NPK 0 JAS				
Rlt fane niébé NPK 15 JAS				
Temps total récolte				
Temps total global				

Rlt : récolte

### Temps de travaux du Groupe2 (homme-jour/ha)

	Système AC		Système conventionnel	
	AC 0 JAS	AC 15 JAS	Conv. 0 JAS	Conv. 15 JAS
<b>Mode gestion avant semis</b>				
Couverture résidus				
Trait. Herb. total				
Labour				
Trait. Herb. prélev.				
Temps total				
<b>Semis</b>				
Culture principale				
Culture associée				
Ressemis cult.principale				
Ressemis cult.associée				
Temps total				
<b>Fertilisation</b>				
NPK au semis				
NPK 15 JAS				
Urée				
Temps total				
<b>Entretien</b>				
1 <sup>er</sup> désherbage				
2 <sup>eme</sup> désherbage				
3 <sup>eme</sup> désherbage				
Buttage				
Temps total				
<b>Récolte</b>				
Rlt grain maïs NPK 0 JAS				
Rlt grain maïs NPK 15 JAS				
Rlt fane niébé NPK 0 JAS				
Rlt fane niébé NPK 15 JAS				
Temps total récolte				
Temps total global				

### Temps de travaux du Groupe3 (homme-jour/ha)

	Système AC		Système conventionnel	
	AC 0 JAS	AC 15 JAS	Conv. 0 JAS	Conv. 15 JAS
<b>Mode gestion avant semis</b>				
Couverture résidus				
Trait. Herb. total				
Labour				
Trait. Herb. prélev.				
Temps total				
<b>Semis</b>				
Culture principale				
Culture associée				
Ressemis cult.principale				
Ressemis cult.associé				
Temps total				
<b>Fertilisation</b>				
NPK au semis				
NPK 15 JAS				
urée				
Temps total				
<b>Entretien</b>				
1 <sup>er</sup> désherbage				
2 <sup>eme</sup> désherbage				
3 <sup>eme</sup> désherbage				
Buttage				
Temps total				
<b>Récolte</b>				
Rlt grain maïs NPK 0 JAS				
Rlt grain maïs NPK 15 JAS				
Rlt fane niébé NPK 0 JAS				
Rlt fane niébé NPK 15 JAS				
Temps total récolte				
Temps total global				

-Que pensez- vous (Avantage et contraintes) liés au temps de travaux relatifs à chaque groupe pour chaque système.

**NB** : à chaque rubrique (avant semis, au semis, à l'entretien, etc.), dire si les temps de travaux sont élevés ou faibles et discuter des implications dans la gestion de la culture (flexibilité de conduite de l'ITK) ou de la gestion à l'échelle de l'exploitation (interaction avec la gestion des autres cultures/parcelles de l'exploitation).

## **5. Discussion sur la superficie potentielle de la sole en AC envisageable par le producteur**

Quelles ont été les contraintes d'apport et d'épandage de biomasse rencontrées sur votre essai et quelles sont les solutions possibles ?

NB : rappel des contraintes de structure (équipement, Bdt, autre...), des contraintes économiques (achat engrais/herbicide...), et des contraintes de main-œuvre et aussi l'objectif et la stratégie de l'exploitation

- Au vu de ce qui précède (ITK, temps de travail, rendement pour chaque groupe ; des objectifs de votre exploitation, combien d'hectares de votre sole en maïs pourriez envisager de cultiver sous AC ?

-Pourquoi une telle superficie ?

## **6. Données de structure et de fonctionnement de la situation de base des exploitations (voir annexe 3)**

### **2<sup>ème</sup> séance d'entretien: simulation et discussion sur les résultats des scénarios**

#### **1. Rappels à effectués**

-Rappel sur le fonctionnement actuel de l'exploitation : assolement, système d'élevage (Bdt, BE, B d'Embouche), ITK complet sur le maïs

-Rappel des ITKs de l'expérimentation, contraintes et avantages correspondants à l'ITK de chaque groupe relevés en 1<sup>ère</sup> séance et les rendements y correspondant.

Rappel de la superficie en AC déclarée pouvant être mise en œuvre sur la sole en maïs en 1<sup>ère</sup> séance.

#### **2. Présentation des résultats de simulation**

Les éléments (indicateurs et/ou variables) à présenter (sous forme de graphique et de schéma visuels) pour chaque scénario sont :

-l'assolement, les rendements des cultures, le bilan céréalier

- le stock effectif de fourrage par culture, le bilan fourrager (excédant/déficit, équivalent du bilan fourrager en paille de maïs ),

- le temps de désherbage (Nbre de jour/ha/Nbre actif de l'exploitation), le temps de travail total (Nbre de jour/ha/Nbre actif de l'exploitation),

-le bilan minéral NPK (positif/négatif), l'équivalent du déficit ou de l'excédent en P ou K (élément de niveau le plus bas) en kg d'NPK; l'équivalent du déficit ou de l'excédent d'azote en kg d'urée ;

-le bilan économique

### **3. Discussion sur le réajustement possible de l'ITK**

-Rappel de l'objectif de l'exploitation (gain de revenu, satisfaction alimentaire, augmentation du troupeau et/ou fourniture satisfaisante de fourrage) et de la stratégie (assolement et système d'élevage) du producteur

-rappel de sur la disponibilité de la main d'œuvre (Nbre d'actif) par période sur l'exploitation

Au vu des doses (quantités) habituelles d'utilisation d'herbicide (total et sélectif) et d'engrais sur le maïs ; pourquoi de telles quantités : choix technique ? Contraintes d'acquisition ? (coût/approvisionnement, etc.)

-Quels sont vos objectifs liés à l'ITK en plus l'objectif de rendement ? (Optimiser fertilité physique et/ou chimique : optimiser l'alimentation minérale et/ou hydrique : contrôler les adventices. ne pas augmenter ou réduire les temps de travaux)

-au vu des ITKs du système AC de chaque groupe, et des contraintes qui y sont liées (Rendement, temps de travaux, dose engrais et d'herbicide à acheter...) et des résultats de simulation des scénarios présentés pour votre exploitation , quelle est l'itinéraire du groupe qui s'adapterait (qui convient) le mieux à votre réalité (objectifs et contraintes de l'exploitation) ?

-Pourquoi ?

-Quels ajustements/quels leviers (dose, nombre et période d'application d'herbicide total et sélectif et/ou nombre et période de désherbage manuel, dose et période d'application d'engrais, type d'engrais, niveau de couverture du sol, ) peuvent être mis en œuvre sur le système AC pour mieux le correspondre à votre réalité ?

Discuter pour vérifier si les leviers proposés par le producteur vont dans le sens de ses objectifs à l'échelle de l'exploitation (gain de revenu, satisfaction alimentaire et/ou fourniture satisfaisante de fourrage) et à l'échelle de la parcelle (optimiser fertilité physique et/ou chimique ; optimiser l'alimentation minérale et/ou hydrique ; contrôler les adventices, ne pas augmenter ou réduire les temps de travaux... )

### **4. Discussion sur le réajustement du système de production**

#### **4.1. Discussion avec le producteur sur les sorties du scénario de base (S0) :**

- Discuter avec le producteur sur la pertinence des sorties (rendement, temps travail total et de désherbage) en comparaison avec celles effectivement observées; cela pour des besoins d'ajustement des paramètres du modèle (calibrage).

## Résultats de simulation pour le scénario initial/scénario de base (situation actuelle)

	Valeurs scénario initial (S0)	Valeurs réelles observées par le producteur
Production coton		
Production maïs		
Production sorgho		
Production mil		
Production niébé associé		
Production niébé pure		
Production arachide		
Production riz		
Bilan céréalier		
Tps desherb. (nbre jr/ha/nbre actif)		
Tps total (nbre jr/ha/nbre actif)		
Stock frg cult. fourragère.		
Stock frg. de maïs		
Stock fourg. Cult.secondeaire		
Stock fourg. De riz		
Stock fourg. De sorgho		
Stock fourg. de mil		
Quantité de deject. parc		
Quantité fumier		
Quantité compost		
Bilan économique		

Commentaire sur les sorties du modèle

### 4.2. Comparaison des trois scénarios S0, S1 et S2

Au vu du nombre de bouches à nourrir, des quantités à mettre en réserve, de la main œuvre disponible, de l'équipement (Bdt, outils, Fosse fumière), et des apports d'NPK, présenter le tableau ci-dessous.

Comparaison des résultats des 3 scénarios (S0, S1 et S2)

	Scénario initial (S0)	Scénario S1: valeur et variation par rapport à S0	Scénario S2: valeur et variation par rapport à S0
Production de maïs (en Tonne)	X tonnes	Y t ( $\pm a$ t de S0)	Z t ( $\pm b$ t de S0)
Production de sorgho			
Production de mil			
<b>Bilan céréalier</b>			
Tps desher (nbre jr/ha/nbre actif)			
Tps total (nbre jr/ha/nbre actif)			
<b>Bilan travail/saison</b>			
Stock frg cult. fourragère.			
Stock frg. de maïs			

Stock fourg. Cult. secondaire			
Stock fourg. De riz			
Stock fourg. De sorgho			
Stock fourg. de mil			
<b>Bilan fourrager (excédant/déficit)</b>			
Equivalent bilan fourg. en paille de maïs			
Bilan économique système de culture			
<b>Bilan économique global*</b>			
Quantité de deject. Parc			
Quantité fumier			
Quantité compost			
<b>Bilan minéral NPK (positif/négatif)*</b>			
Equivalent de l'élément le plus bas en kg d'NPK			

NB: Pour le bilan minéral, évoquer avec le producteur les quantités d'NPK apportées.  
Pour le bilan économique, faire la part du bilan du système de culture d'élevage.

#### Confrontation des résultats du scénario S0 avec les objectifs de l'exploitation.

	(Objectif exploitation et/ou parcelle atteint ?)		suggestion
	exploitation	Parcelle	
Production maïs :			
production sorgho			
production mil			
<b>Bilan céréalier</b>			
Tps desher (nbre jr/ha/nbre actif)			
Tps total (nbre jr/ha/nbre actif)			
<b>Bilan travail/saison</b>			
Stock frg cult. fourragère.			
Stock frg. de maïs			
Stock fourg. Cult. secondaire			
Stock fourg. De riz			
Stock fourg. De sorgho			
Stock fourg. de mil			
<b>Bilan fourrager (excédant/déficit)</b>			
Equivalent bilan fourg. en paille de maïs			
Bilan économique du système de culture			
<b>Bilan économique global</b>			
Quantité de deject. parc			
Quantité fumier			
Quantité compost			
<b>Bilan minéral NPK (positif/négatif)</b>			
Equivalent de l'élément le plus bas en kg d'NPK			

-Votre appréciation générale (indicateurs de performances du modèle) pour ce scénario

### Atouts et faiblesses du scénario S0

Atouts (indicateurs du tableau précédent)	Faiblesses (indicateurs tableau du précédent)			Contraintes ou blocage à l'ajustement (équipement, œuvre, autre)
	Points à améliorer (indicateurs)	Pourquoi?	Proposition pour améliorer (ajustement du système**)	

### Confrontation des résultats du scénario S1 avec les objectifs de l'exploitation

	(Objectif exploitation et/ou parcelle atteint ?)		suggestion
	exploitation	Parcelle	
Production de maïs			
Production de sorgho			
Production de mil			
<b>Bilan céréalier</b>			
Tps desher (nbre jr/ha/nbre actif)			
Tps total (nbre jr/ha/nbre actif)			
<b>Bilan travail/saison</b>			
Stock frg cult. fourragère.			
Stock frg. de maïs			
Stock fourg. Cult. secondaire			
Stock fourg. De riz			
Stock fourg. De sorgho			
Stock fourg. de mil			
<b>Bilan fourrager(excédant/déficit)</b>			
Equivalent bilan fourg. en paille de maïs			
Bilan économique du système de culture			
<b>Bilan économique</b>			
Quantité de deject. parc			
Quantité fumier			
Quantité compost			
<b>Bilan minéral NPK (positif/négatif)</b>			
Equivalent de l'élément le plus bas en kg d'NPK			

Votre appréciation générale (indicateurs de performances) pour ce scénario

Atouts et faiblesses du scénario S1

Atouts (indicateurs du tableau précédent)	Faiblesses (indicateurs tableau du précédent)			Contraintes/blocage à l'ajustement (équipement, main œuvre, autre)
	Points à améliorer (indicateurs)	Pourquoi?	Proposition pour améliorer (ajustement du système**)	

**Confrontation des résultats du scénario S2 avec les objectifs de l'exploitation**

	(Objectif exploitation et/ou parcelle atteint ?)		Suggestion
	exploitation	Parcelle	
Production maïs : x ha			
production sorgho			
Production mil			
<b>Bilan céréalier</b>			
Tps desher (nbre jr/ha/nbre actif)			
Tps total (nbre jr/ha/nbre actif)			
<b>Bilan travail/saison</b>			
Stock frg cult. fourragère.			
Stock frg. de maïs			
Stock fourg. Cult. secondaire			
Stock fourg. De riz			
Stock fourg. De sorgho			
Stock fourg. de mil			
<b>Bilan fourrager (excédant/déficit)</b>			
Equivalent bilan fourg. en paille de maïs			
Bilan économique du système de culture			
<b>Bilan économique</b>			
Quantité de deject. parc			
Quantité fumier			
Quantité compost			
<b>Bilan minéral NPK (positif/négatif)</b>			
Equivalent de l'élément le plus bas en kg d'NPK			

Votre appréciation générale (indicateurs de performances) pour ce scénario?

## Atouts et faiblesses du scénario S2

Atouts (indicateurs du tableau précédent)	Faiblesses (indicateurs du tableau précédent)			
	Points à améliorer (indicateurs)	Pourquoi?	Proposition pour améliorer (ajustement du système**)	Contraintes/blocage à l'ajustement (équipement, main œuvre, autre)

-quels scénarios permet une meilleure satisfaction des objectifs (échelle exploitation et parcelle) ?

Quels sont les ajustements nécessaires pour favoriser l'insertion de l'AC (améliorer les indicateurs de performances) au niveau l'exploitation

*NB : Exemples de leviers d'ajustement possible du système de production*

-assolement : diminution de la sole en coton au profit du maïs, de la culture fourragère ou d'une culture secondaire.

-augmentation de la superficie de maïs en AC avec utilisation d'herbicide à la place de désherbage manuel pour réduire la pression sur la main œuvre et obtenir plus de céréales donc améliorer le bilan céréalier ;

-conservation d'une proportion importante des résidus pour la couverture et augmentation de la surface fourragère pour compenser le déficit.

-etc.

### **3<sup>ème</sup> séance : Présentation des résultats de simulation après ajustement du système production proposé**

Les éléments (indicateurs et/ou variables) à présenter (sous forme de graphique et de schéma visuels) pour chaque scénario sont :

-l'assolement, les rendements des cultures, le bilan céréalier

- le stock potentiel de fourrage (proportion de paille/fane récoltée par spéculation le stock effectif de fourrage par culture, le bilan fourrager (excédant/déficit, équivalent du bilan fourrager en paille de maïs),

- le temps de désherbage (Nbre de jour/ha/Nbre actif), le temps de travail total (Nbre de jour/ha/ Nbre actif),

-le bilan minéral NPK (positif/négatif), l'équivalent du déficit ou de l'excédent en P ou K (élément de niveau le plus bas) en kg d'NPK; l'équivalent du déficit ou de l'excédent d'azote en kg d'urée ;

-le bilan économique

Confrontation des résultats du scénario suite à l'ajustement, avec les objectifs de l'exploitation.

	(Objectif exploitation et/ou parcelle atteint ?)		Suggestion
	exploitation	Parcelle	
Production maïs : x ha			
production sorgho			
Production mil			
<b>Bilan céréaliier</b>			
Tps desher (nbre jr/ha/nbre actif)			
Tps total (nbre jr/ha/nbre actif)			
<b>Bilan travail/saison</b>			
Stock frg cult. fourragère.			
Stock frg. de maïs			
Stock fourg. Cult. secondaire			
Stock fourg. De riz			
Stock fourg. De sorgho			
Stock fourg. de mil			
<b>Bilan fourrager (excédant/déficit)</b>			
Equivalent bilan fourg. en paille de maïs			
Bilan économique du système de culture			
<b>Bilan économique</b>			
Quantité de deject. parc			
Quantité fumier			
Quantité compost			
<b>Bilan minéral NPK (positif/négatif)</b>			
Equivalent de l'élément le plus bas en kg d'NPK			

Votre appréciation générale (indicateurs de performances) pour ce scénario ?

### Atouts et faiblesses du scénario d'insertion de l'AC après l'ajustement proposé

Atouts (indicateurs du tableau précédent)	Faiblesses (indicateurs du tableau précédent)			
	Points à améliorer (indicateurs)	Pourquoi?	Proposition pour améliorer (ajustement du système**)	Contraintes/blocage à l'ajustement (équipement, œuvre, autre) main

Eventuellement, quels sont les ajustements nécessaires pour davantage améliorer les indicateurs au vu des contraintes observées ?

### Annexe 3: Caractéristiques de structure et de fonctionnement des exploitations pour la situation de base

Données d'hivernage :

	Module ressource	Pdct 1	Pdct 2	Pdct 3	Pdct 4
Famille	Nombre de bouches à nourrir	11	6	10	15
	Nombre d'actifs en hivernage	6	5	5	6
	Nombre d'actifs en saison sèche froide	6	4	3	4
	Nombre d'actifs en saison sèche chaude	6	3	3	4
Equipement	Nombre de charrues	1	1	1	1
	Nombre de l'IR12	0	0	0	0
	Capacité maximale de stockage de la fumure organique dans une fosse fumièrè (en charrette)	0	20	20	20
	capacité de maximale de stockage de la FO dans une fosse compostièrè (en charrette)	0	0	20	0
	Capacité maximale de stockage des résidus de culture (en charrette)	25	20	25	20
Parcellaire	Surface cultivée (en ha)	4,5	5,5	7,5	8

Pdct = producteur

	Module culture	Pdct 1	Pdct 2	Pdct 3	Pdct 4
	Nombre d'hectares de coton	0	1,5	2,5	0
	Nombre d'hectares de maïs	2	1,75	3	2
	Nombre d'hectares de sorgho	0,12	0	0,75	1
	Nombre d'hectares de mil	0,12	0	0	1
	Nombre d'hectares de riz	0	0,5	0	0,25
	Nombre d'hectares d'arachide	0,25	0,12	0,25	1
	Nombre d'hectares de niébé	0,25	0,25	0,12	0,25
	Nombre d'hectares de cultures fourragères	0,25	0	0	0

Module élevage		Pdct 1	Pdct 2	Pdct 3	Pdct 4
Effectif au début de l'hivernage	Nombre de bœufs de trait au début de l'hivernage	2	2	4	2
	Nombre de bovins d'élevage au début de l'hivernage (sans BdT et d'embouche)	30	2	13	1
	Nombre de vaches laitières mises à la reproduction au début de l'hivernage parmi les bovins d'élevage	0			0
	Nombre de petits ruminants au début de l'hivernage	14	4	4	16
	Nombre de bovins d'embouche au début de l'hivernage	0	0	0	0
Achats pendant l'hivernage	Nombre de bœufs de trait acheté	0	0	0	0
	Nombre de bovins d'élevage acheté	1	0	2	0
	Nombre de vaches laitières acheté	0	0	0	0
	Nombre de petits ruminants acheté	0	1	2	0
	Nombre de bovins d'embouche acheté	0	0	0	0
vente pendant l'hivernage	Nombre de bœufs de trait vendu	0	0	1	0
	Nombre de bovins d'élevage vendu	0	0	0	0
	Nombre de vaches laitières vendu	0	0	0	0
	Nombre de petits ruminants vendu	0	0	0	2
	Nombre de bovins d'embouche vendu	0	0	0	0

Module FO		Pdct 1	Pdct 2	Pdct 3	Pdct 4
En hivernage	Devenir des déjections des bœufs de trait	Parc	Fosse	Fosse	Fosse
	Devenir des déjections des bovins d'élevage	Parc	Fosse	Néant	Fosse
	Devenir des déjections des petits ruminants	Néant	Fosse	Fosse	Fosse
	Devenir des déjections des bovins d'embouche	Néant	Néant	Néant	Néant

Module fertilisation		Pdct 1	Pdct 2	Pdct 3	Pdct 4
NPK (en kg)	Quantité de NPK épandue /ha de coton (kg)	0	150	200	0
	Quantité de NPK épandue /ha de maïs (kg)	150	200	150	150
	Quantité de NPK épandue /ha de sorgho (kg)	0	0	0	0
	Quantité de NPK épandue /ha de riz (kg)	0	200	0	50
	Quantité d'urée épandue /ha de coton (kg)	0	50	75	0
Urée (en kg)	Quantité d'urée épandue /ha de maïs (kg)	50	50	50	50
	Quantité d'urée épandue /ha de sorgho (kg)	0	0	0	0
	Quantité d'urée épandue /ha de riz (kg)	0	0	0	0
	Quantité maximale de FO épandue par ha (kg)	6000	4000	4000	6000

Module travail	Pdct 1	Pdct 2	Pdct 3	Pdct 4
distance moyenne des parcelles (km)	1	7	7	7
superficie totale labourée (ha)	2	0,62	0	0,25
surface totale billonnée (ha)	1	3,5	6,62	5,25
surface totale scarifiée (ha)	0	0	0	0
surface coton transgénique (ha)	0	0	0	0
surface totale désherbée chimiquement avant préparation du sol (ha)	3	7,37	6,62	5,5
surface totale désherbée avec herbicide après la mise place (ha) des cultures	2	1,75	0	2
sorgho fertilisé?	non	non	non	non
Désherbage attelé?	oui	oui	oui	oui
nombre de bergers en hivernage	1	1	1	1

nombre de bergers en saison sèche froide	1	1	0	1
nombre de bergers en saison sèche chaude	1	1	0	1
Fosses fumières localisées au champ?	non	non	non	non
parc localisé au champ?	oui	oui	oui	oui

	<b>Module économie</b>	<b>Pdct 1</b>	<b>Pdct 2</b>	<b>Pdct 3</b>	<b>Pdct 4</b>
Dépenses liées aux cultures	Nombre de litres d'herbicide total acheté	9	17	18,25	6,25
	Nombre de litres d'herbicide coton achetés	0	0	0	0
	Nombre de sachets d'herbicides coton achetés	0	6	10	0
	Nombre de litres d'herbicide maïs achetés	4	3,5	0	2
	Nombre de sachets d'herbicides maïs achetés	8	5,25	12	1
	Nombre de traitements insecticides 1er type acheté (Fcfa)	0	3	5	0
	Nombre de traitements d'insecticides 2ème type acheté	0	3	5	0
	Nombre de traitements d'insecticides 3ème type acheté	0	3	5	0
	montant d'achat d'insecticides niébé	4840	0	2000	3000
	Montant annuel des dépenses liées à l'achat et au traitement des semences de Coton (Fcfa)	0	4836	8060	0
	Montant annuel des dépenses liées à l'achat et au traitement des semences de Maïs (Fcfa)	1500	0	500	2000
	Montant annuel des dépenses liées à l'achat et au traitement des semences de Sorgho et de mil et de riz (Fcfa)	1500	0	500	2000
	Montant annuel des dépenses liées à l'achat et au traitement des semences de Cultures secondaires (Fcfa)	0	0	0	1000
	Montant annuel des dépenses liées à l'achat et au traitement des semences de Cultures fourragères (Fcfa)	0	0	0	0

## 2. Données de saison sèche froide et de saison sèche chaude

<b>Module culture</b>			<b>Pdct 1</b>	<b>Pdct 2</b>	<b>Pdct 3</b>	<b>Pdct e 4</b>
Agriculture conventionnelle	Maïs	Proportion de résidus récoltés pour compost (en %)	0	0	0	0
		Proportion de résidus récoltés pour fourrage/fumier (en %)	17	6	0	0
	sorgho	Proportion de résidus récoltés pour compost (en %)	0	0	0	0
		Proportion de résidus récoltés pour fourrage/fumier (en %)	0	35	0	27
	mil	Proportion de résidus récoltés pour compost (en %)	0	0	0	0
		Proportion de résidus récoltés pour fourrage/fumier (en %)	50	0	0	38
	riz	Proportion de résidus récoltés pour compost (en %)	0	0	0	0
		Proportion de résidus récoltés pour fourrage/fumier (en %)	0	75	0	75
	arachide	Proportion de résidus récoltés pour fourrage/fumier (en %)	0	100	50	22
	niébé	Proportion de résidus récoltés pour fourrage/fumier (en %)	100	0	0	0
	Culture	Proportion de résidus récoltés	100	0	0	0

	fourragère	pour fourrage/fumier (en %)				
--	------------	-----------------------------	--	--	--	--

Module Ration	Pdct 1	Pdct 2	Pdct 3	Pdct 4
Nb de bœufs d'élevage recevant une complémentation de leur ration en saison sèche chaude	7	2	0	1
Nb de bœufs de trait recevant une complémentation de leur ration en saison sèche chaude	2	2	4	2
Nb de bœufs d'embouche recevant une complémentation de leur ration en saison sèche chaude	0	0	0	0
Nb de vaches laitières recevant une complémentation de leur ration en saison sèche chaude	0	0	0	0
Nb de petits ruminants recevant une complémentation de leur ration en saison sèche chaude	0	0	0	0
quantité de tourteau acheté (en kg)	0	0	0	0

	Module FO	Pdct 1	Pdct 2	Pdct 3	Pdct 4
Saison sèche froide	Devenir des déjections des bœufs de trait	Parc	Fosse	Fosse	Fosse
	Devenir des déjections des bovins d'élevage	Parc	Fosse	Néant	Fosse
	Devenir des déjections des petits ruminants	Néant	Fosse	Fosse	Fosse
	Devenir des déjections des bovins d'embouche	Néant	Néant	Néant	Néant
Saison sèche chaude	Devenir des déjections des bœufs de trait	Parc	Fosse	Fosse	Fosse
	Devenir des déjections des bovins d'élevage	Néant	Fosse	Néant	Fosse
	Devenir des déjections des petits ruminants	Néant	Fosse	Fosse	Fosse
	Devenir des déjections des bovins d'embouche	Néant	Néant	Néant	Néant

	Module élevage	Pdct 1	Pdct 2	Pdct 3	Pdct 4
achat pendant la SSF	Nombre de bœufs de trait achetés	0	0	0	0
	Nombre de bovins d'élevage achetés	0	0	0	0
	Nombre de vaches laitières achetées	0	0	0	0
	Nombre de petits ruminants achetés	0	0	0	0
	Nombre de bovins d'embouche achetés	0	0	0	0
vente pendant la SSF	Nombre de bœufs de trait vendu	0	0	0	0
	Nombre global de bovins d'élevage vendu	1	0	0	0
	Nombre de vaches laitières vendu	0	0	0	0
	Nombre de petits ruminants vendus	0	0	0	0
	Nombre de bovins d'embouche vendu	0	0	0	0
achat pendant la SSC	Nombre de bœufs de trait achetés	0	0	0	0
	Nombre de bovins d'élevage achetés	0	0	0	0
	Nombre de vaches laitières achetées	0	0	0	0
	Nombre de petits ruminants achetés	0	0	0	0
	Nombre de bovins d'embouche achetés	0	0	0	0
vente pendant la SSC	Nombre de bœufs de trait vendu	0	0	0	0
	Nombre global de bovins d'élevage vendu	1	0	0	0
	Nombre de vaches laitières vendu	0	0	0	0
	Nombre de petits ruminants vendus	6	0	2	0
	Nombre de bovins d'embouche vendu	0	0	0	0

	Module économie	Pdct 1	Pdct 2	Pdct 3	Pdct 4
Réserves pour besoins sociaux	Quantité de maïs à mettre en réserve (sac de 100 kg)	5	5	5	5
	Quantité de sorgho à mettre en réserve (sac de 100 kg)	0	2	0	2
	Quantité de mil à mettre en réserve (sac de 100 kg)	0	0	0	1

	Quantité de riz à mettre en réserve	0	1,5	0	2
	Quantité de niébé à mettre en réserve (sac de 100 kg)	1	1	0	1
	Quantité de d'arachide à mettre en réserve (sac de 100 kg)	2	1	1	2
Main d'œuvre	Coût de la main d'œuvre extérieure occasionnelle :Labour, désherbage, récolte, etc. ( en FCfa)	22 500	40 500	30 000	0
	Nombre d'actifs permanents employés de l'extérieur	1	0	0	0
Elevage	Montant annuel des frais vétérinaires	31 500	7 000	15 950	14 200
	Montant annuel des frais de sel pour les animaux	48 000	4 500	62 000	4 000
	Montant annuel des dépenses liées à l'achat de matériel	0	0	0	0