



HAL
open science

**Co-conception de systèmes de culture innovants avec
deux communautés villageoises du Burkina Faso :
Articulation entre traque aux innovations, prototypage
participatif et expérimentations paysannes**

Anne Périnelle

► **To cite this version:**

Anne Périnelle. Co-conception de systèmes de culture innovants avec deux communautés villageoises du Burkina Faso : Articulation entre traque aux innovations, prototypage participatif et expérimentations paysannes. Sciences agricoles. Université Paris-Saclay, 2021. Français. NNT : 2021UPASB024 . tel-03274702

HAL Id: tel-03274702

<https://pastel.hal.science/tel-03274702>

Submitted on 30 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Co-conception de systèmes de culture innovants
avec deux communautés villageoises
du Burkina Faso :

Articulation entre traque aux innovations,
prototypage participatif et expérimentations paysannes
*Co-designing innovative cropping systems with two
communities of Burkina Faso:
Combining innovation tracking,
participatory prototyping and farmers' trials*

Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n° 581 : agriculture, alimentation,
biologie, environnement et santé (ABIES)
Spécialité de doctorat: Sciences agronomiques
Unités de recherche : Université Paris-Saclay, INRAE,
AgroParisTech, UMR SAD-APT, 75005, Paris, France
CIRAD, UPR AIDA, F-34398 Montpellier, France
Réfèrent : AgroParisTech

**Thèse présentée et soutenue à Paris-Saclay,
le 18/05/2021, par**

Anne PERINELLE

Composition du Jury

Guillaume MARTIN Directeur de Recherche, INRAE IdF-Versailles-Grignon	Président
Nadine ANDRIEU Chercheure HDR, CIRAD, Guadeloupe	Rapporteur & Examinatrice
Katrien DESCHEEMAEKER Associate professor, WUR (Pays-Bas)	Rapporteur & Examinatrice
Marianne CERF Directrice de Recherche, INRAE IdF-Versailles-Grignon	Examinatrice
Der DABIRE Chercheur CIRDES (Burkina Faso)	Examineur

Direction de la thèse

Jean-Marc MEYNARD Directeur de Recherche, INRAE IdF-Versailles-Grignon	Directeur de thèse
Eric SCOPEL Chercheur, CIRAD, Montpellier	Co-Encadrant & Invité

A Ti'bou

Remerciements

Ce travail est le résultat d'une magnifique aventure qui a commencé dès 2016, avec la rédaction du projet de thèse. Si j'en suis le personnage central, d'autres protagonistes ont eu un rôle primordial et indispensable, à commencer par mes directeurs de thèse, Jean-Marc Meynard, et Eric Scopel. Je me souviens encore du jour où j'ai reçu le mail confirmant l'obtention d'une bourse de thèse de mon unité de recherche au CIRAD, Aïda. Mon enthousiasme était annonciateur d'une belle aventure qui n'a pas été un fleuve tranquille, le doute m'a souvent traversé, mais à aucun moment je n'ai regretté mon choix.

Merci donc à Jean-Marc, pour m'avoir aidée à affronter les obstacles scientifiques que j'ai eu à franchir, toujours avec bienveillance. Comme il l'a dit lui-même, il a su me faire accoucher de mes idées, sans jamais faire sentir à quel point j'étais (et suis toujours) ignorante. Et merci à Eric, pour m'avoir accompagnée et soutenue dès le début du projet de thèse, dans cette aventure humaine et scientifique. Merci à tous les deux pour vos relectures de mon manuscrit et les nombreux Skype que nous avons eus, et qui se sont toujours révélés très constructifs et stimulants. Je sais la chance que j'ai eu d'avoir deux co-directeurs impliqués avec enthousiasme et bienveillance dans ma thèse.

Le quatrième personnage important, dont le nom apparaît trop peu, est Hamadou Zonou, qui a travaillé avec moi au Burkina Faso en tant que technicien et traducteur, mais qui a également été un guide et un soutien tout au long de la phase de terrain qui a duré près de trois ans. Merci Zonou, de m'avoir accompagnée, avec intégrité et sagesse.

Mon travail de terrain doit également beaucoup à mes collègues du CIRAD sur place : merci à David Berre, pour son aide sur l'analyse de mes données et ses encouragements, merci à Myriam Adam pour ses conseils sur mon dispositif expérimental et pour m'avoir aidée à encadrer Oula Ouattara, en stage de master. Merci à Patrice Kouakou pour m'avoir introduite aux partenaires, les chercheurs de l'INERA et les agents du ministère de l'agriculture, et auprès des villages dans lesquelles j'ai travaillé, et pour m'avoir aidée sur de nombreux points logistiques. Merci à Guillaume Bruelle pour m'avoir aidée dans mon installation à Bobo Dioulasso. Je remercie également Denis Gautier, pour m'avoir permise d'intégrer le projet SANTE Glofood qui a participé à financer une grande partie de mon travail de terrain. Enfin, je voudrais rendre un hommage tout particulier à Michel Havard, que j'ai eu la chance de côtoyer à Bobo Dioulasso, et qui nous a quitté en 2020. Michel était un pilier sur lequel nous pouvions nous reposer, et il a grandement participé au bon déroulement de mon terrain.

Je remercie également les collègues de l'INERA, notamment Souleymane Ouedraogo, directeur du programme GRN-SP à Farakoba, et Amoro Sie Ouattara du laboratoire d'analyses de sol, ainsi que les membres du Dispositif en Partenariat (DP) ASAP dont Alima Bandaogo, Der Dabiré. Je pense aussi aux collègues du CIRAD à Ouagadougou : merci à Jean Marie Douzet, Louis Marie Raboin et Julie Dusserre pour

leur accueil à Ouaga et leurs conseils sur mes activités de terrain. Vous avez tous contribué à rendre mon travail au Burkina Faso passionnant et productif, encore une fois, merci !

Cependant, ceux qui ont le plus contribué à la richesse de la phase de terrain, restent tous les producteurs, hommes et femmes, que j'ai eu l'honneur de rencontrer et de côtoyer pendant près de 3 ans. Je ne peux malheureusement pas tous vous nommer ici mais vous m'avez tous beaucoup appris! Merci à vous pour votre indulgence, votre patience et l'intérêt que vous avez porté à notre travail. J'ai partagé des moments précieux, souvent joyeux, avec chacun de vous. Merci Romaric et Moussa de m'avoir aidée à travailler dans vos villages de Boni et de Founzan.

Ma réflexion scientifique a également été enrichie par de nombreuses interactions avec des collègues de l'INRA et du CIRAD en France. Tout d'abord, je souhaite remercier les membres de mon comité de suivi : Lorene Prost, Eric Vall, Pierre Yves Le Gal, Oumarou Balarabé et Michel Havard. Ces comités ont constitué des repères constructifs dans mon parcours de thèse. Merci également au collectif IDEAS, et tout particulièrement à Marie Hélène Jeuffroy, Lorene Prost, Marianne Cerf et Quentin Toffolini. Chaque séminaire auquel j'ai participé m'a beaucoup apporté.

Je souhaite également exprimer ma gratitude aux collègues de mon unité du CIRAD (UPR Aïda). J'ai eu des discussions passionnantes avec nombre d'entre vous, le confinement m'a permis de réaliser à quel point ces discussions informelles entre chercheurs sont précieuses. Nos nombreuses discussions ont réellement participé à cette thèse, sans compter votre soutien qui m'a été très précieux. Merci tout particulièrement à Stéphane Boulakia pour m'avoir forcée à consolider mon raisonnement, à Philippe Letourmy pour ses conseils sur les analyses statistiques et à Juliette Lairez pour le partage d'expérience.

Parmi les interactions que j'ai eues avec mes pairs, celles que j'ai eues avec d'autres doctorants m'ont beaucoup apporté et encouragé. Merci aux doctorants du SAD que j'ai eu le plaisir de rencontrer pendant les journées des doctorants du SAD. Un grand merci aussi à Chloé Salembier, pour nos discussions et son accueil dans son bureau lors de mes courts passages à Grignon, et à Maude Quinio.

Teatske Bakker, Chloé Alexandre, Arielle Vidal, j'ai eu beaucoup de chance de vous rencontrer et de tisser avec vous des liens professionnels et amicaux qui m'ont été d'une aide précieuse au Burkina Faso, où nous avons toutes fait notre terrain, et en France. Merci pour vos encouragements et conseils lors de la rédaction de ce manuscrit.

Je voudrais également exprimer ma gratitude à celles et ceux qui m'ont accueillie dans leur bureau : Charlotte Tollenaere de l'IRD à Bobo Dioulasso, ainsi que Sandrine Auzoux, Catherine Marquié et Remy

Kulagowsky à Montpellier. Chacun à votre façon vous m'avez soutenue, nos discussions ont été très encourageantes pour moi.

Merci aussi aux assistantes qui ont participé au bon déroulement de ma thèse, et tout particulièrement à Brigitte Giudicelli et Christine Casino d'Aïda, à Florence Barré de l'INRA et Aïssata Diallo du CIRAD à Ouagadougou. Votre aide sur les questions administratives a été précieuse.

Je remercie Katrien Descheemaker et Nadine Andrieu d'avoir accepté d'être rapporteurs de cette thèse, ainsi que les autres membres de mon Jury : Marianne Cerf, Der Dabiré et Guillaume Martin.

Et bien sûr, un énorme merci à toutes les personnes qui ont participé à la relecture de ce manuscrit ! Merci notamment à Tara pour sa relecture de l'anglais, à André et à Evelyne pour avoir corrigé les fautes d'orthographe, et à Agnès pour m'avoir aidée à la mise en page.

Last but not least, je voudrais exprimer ma profonde gratitude à ma famille. Merci à mes parents et à mes sœurs, tout particulièrement à Agnès, pour leurs encouragements et leur soutien, et pour avoir pris sur vous quand je suis partie dans un pays dont l'état sécuritaire se dégradait.

Enfin, je souhaite remercier mon compagnon Sylvain. Merci pour ta patience et ton soutien infaillible, notamment ces derniers mois de rédaction, riches en émotions. Merci de m'avoir aidée à vivre cette phase tumultueuse de rédaction et de confinement.

Je ne peux pas terminer ces remerciements sans dédicacer ce manuscrit à ce petit être à naître, surnommé Ti'Bou, et qui m'a accompagné ces huit derniers mois de rédaction. Merci Ti'Bou de tout le courage que tu m'as donné.

Table des matières

<i>Remerciements</i>	1
<i>Table des matières</i>	5
<i>Liste des acronymes, abréviations et sigles</i>	9
<i>Glossaire Anglais-Français</i>	10
<i>Introduction générale</i>	11
<i>PARTIE 1 : Problématique de recherche</i>	13
<i>1. L'innovation agronomique dans le contexte de l'Afrique Sub-saharienne</i>	13
1.1. Accompagner le changement en aidant les acteurs à innover	13
1.1.1. Le changement par la conception	13
1.1.2. La conception participative	15
1.2. Les innovations sont contraintes par le système sociotechnique	20
1.2.1. Le système sociotechnique.....	20
1.2.2. Lever les freins par la mise en place de plateformes d'innovation	21
1.3. Concevoir des systèmes de culture à l'échelle du village	22
1.3.1. Concevoir des systèmes de culture	22
1.3.2. Des systèmes de culture inclus dans des exploitations agricoles.....	22
1.3.3. Diversité et dynamique des exploitations agricoles au sein d'un territoire	23
<i>2. Contexte de l'étude : la zone cotonnière du Burkina Faso</i>	24
2.1. Présentation de la zone d'étude	24
2.2. Le choix de développer les légumineuses	28
<i>3. Démarche et problématique</i>	29
3.1. Proposition d'une démarche de conception distribuée	29
3.2. Organisation de la thèse autour de trois chapitres	31
<i>PARTIE 2 : Résultats</i>	33
<i>CHAPITRE 1. Articulation de la traque aux innovations avec des essais de prototypage participatifs pour l'évaluation collective des Systèmes de Culture Innovants (ICS)</i>	33
Résumé.....	33
Abstract	34

1.1. Introduction	34
1.2. Materials and Methods	36
1.2.1. Context: Studying innovations in the cotton-production area of Burkina Faso	36
1.2.2. On-farm innovation tracking	37
1.2.3. Participatory workshops and Participatory prototyping trials (PPTS) in two communities	38
1.2.4. Surveys to characterize field day farmers	42
1.3. Results	42
1.3.1. ICSs characterized through the on-farm innovation tracking and innovative farmers' evaluations	42
1.3.2. Participatory Prototyping Trials and Field Days.....	49
1.3.3. Characteristics of Farmers and their participation and contribution.....	51
1.4. Discussion	53
1.4.1. Introducing innovative legume-based cropping systems.....	53
1.4.2. Innovative farmers' evaluations of ICSs and links to local drivers of change	54
1.4.3. Comparison between evaluations made by innovative farmers and field-day farmers	55
1.4.4. Use of ICSs and PPTs to introduce innovation.....	56
1.4.5. Farmers' knowledge and co-learning	57
1.4.6. Initiation of a co-design process with a wide range of farmers	58
1.5. Conclusion	59
CHAPITRE 2. <i>Quel système innovant pour quel producteur ? Rôle des activités collectives sur les PPT pour alimenter le choix de chaque producteur</i>	60
2.1 Introduction	60
2.2 Matériel et méthode	61
2.2.1. Les essais de prototypages participatifs (PPT) et les visites commentées sur les PPT.....	61
2.2.2. Modalités d'organisation des Farmers' Adaptation Trials (FAT).....	65
2.2.3. Enquêtes Rhomis (Rural Household Multi-Indicator Survey).....	66
2.2.4. Analyses statistiques.....	68
2.2.5. Etablissement d'une typologie d'exploitations.....	68
2.2.6. Entretiens semi-directifs sur les choix des producteurs.	69
2.2.7. Analyse des critères de choix.....	69
2.3. Résultats	70
2.3.1. Relation entre les critères d'évaluation exprimés par les producteurs lors des visites des PPT1 et leurs critères de choix des ICS mis en test dans les FAT 1	70
2.3.2. Les producteurs choisissent un ICS à tester, selon des critères dépendant peu de leur système d'exploitation.....	80

2.3.3. L'évolution des choix des producteurs entre la première et la deuxième année d'essais, et les critères sous-jacents.....	85
2.4. Discussion	90
2.4.1. Des producteurs diversifiés	90
2.4.2. Des critères de choix des ICS de nature variée.....	93
2.4.3. Une approche permettant de répondre aux spécificités de chaque producteur.....	94
2.5. Conclusion partielle.....	96
<i>CHAPITRE 3. Un processus de conception pas-à-pas nourri par l'expérimentation paysanne et les échanges entre producteurs</i>	<i>97</i>
3.1. Introduction.....	97
3.2. Matériel et méthode	98
3.2.1. Les PPT, mise en place et suivi	98
3.2.2. Les FAT: description du dispositif.....	98
3.2.3. Suivi des FAT.....	99
3.2.4. Analyse de données.....	101
3.3. Résultats.....	102
3.3.1. Les associations sorgho-légumineuses ont suscité plus de propositions d'amélioration que les fourrages et les successions intra-annuelles.....	102
3.3.2. Une grande diversité dans l'adaptation des modes de semis des associations, liée à la gestion des adventices et à la réduction de la compétition interspécifique.....	112
3.4. Discussion	119
3.4.1. Un processus de conception pas-à-pas initié de manière collective dans les PTT et poursuivi par chaque producteur dans son exploitation	119
3.4.2. Certains systèmes de culture, et certaines opérations de l'itinéraire technique, se prêtent davantage à la conception pas-à-pas que d'autres	124
3.4.3. La posture de l'agronome dans l'accompagnement de la conception pas-à-pas.....	125
3.5. Conclusion partielle.....	126
<i>PARTIE 3 : Discussion générale et Conclusion</i>	<i>127</i>
<i>1. Discussion générale.....</i>	<i>127</i>
1.1. Retour sur l'approche.....	127
1.1.1. Une démarche originale articulant différentes méthodes jusqu'ici mobilisées séparément	127
1.1.2. Une démarche co-construite en interaction avec les producteurs	130

1.1.3. Une variété de systèmes de culture, adaptée à la diversité et au dynamisme des systèmes de production.....	135
1.2. Implications pratiques et perspectives.....	138
1.2.1. Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle, et Transition agro-écologique	138
1.2.2. Mise en œuvre de l'approche dans une optique de développement.....	139
2. Conclusion générale.....	142
Références	144
Liste des figures et des tables	155
ANNEXES.....	159
ANNEXE 1: Illustration des systèmes issus de la traque aux innovation.....	159
ANNEXE 2 : Schéma et protocole de l'essai de prototypage participatif 1 (PPT1), année 2017	162
ANNEXE 3 : Schéma et protocole de l'essai de prototypage participatif 2 (PPT2), année 2018	166
ANNEXE 4 : Figures détaillant les différents types d'adaptation présentées dans le chapitre 3 des résultats	170

Liste des acronymes, abréviations et sigles

Asso.	Association
CIRAD	Centre de coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement
DEED	Describe, Explain, Explore and Design
EA	Exploitation Agricole
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FAT	Farmers' Adaptation Trials/ essais paysans d'adaptation
Fourr.	Fourrage
GLM	Modèle Linéaire Généralisé
ha	hectares
ICRISAT	Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides
ICS	Innovative Cropping Systems/ Systèmes de Culture Innovants
ILRI	International Livestock Research Institute
IL	Interligne
INERA	Institut de l'Environnement et de recherches agricoles, Burkina Faso
IP	Inter-poquet
ITK	Itinéraire technique
LER	Land Equivalent Ratio ou Surfaces équivalentes relatives
NPK	Engrais contenant de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K)
ONG	Organisations Non Gouvernementales
ODD	Objectifs du millénaire pour le Développement Durable
PPT	Participatory Prototyping Trials/ essais de prototypage participatifs
RAP	Recherche Action en Partenariat
R&D	Recherche et développement
RST	Relative Sowing Time
SOFITEX	Société burkinabè des fibres textiles
Succ.	Succession
cf.	du latin "confer" : se reporter à
e.g.	du latin "exempli gratia" : par exemple
i.e.	du latin "Id est" : c'est-à-dire
NA	Non Applicable
RAS	Rien à signaler

Glossaire Anglais-Français

<u>Anglais</u>	<u>Français</u>
Actionnable knowledge	Connaissances actionnables
Farmers' adaptive trials	Essais paysans d'adaptation
Field-days	Visites collectives
Field-days Farmers	Producteurs des visites
Innovative cropping systems	Systèmes de Cultures Innovants
Innovative design	Conception innovante
Intercropping	Association de cultures
Inter-hole	Inter-poquet
Inter-row	Interligne
Land equivalent ratio	Surfaces équivalentes relatives (SER)
Participatory prototyping trials	Essais de prototypage participatifs
Relative sowing time	Période relative de semis
Ridging	Buttage
Rule-based design	Conception réglée
Situated knowledge	Connaissances situées
Sole crop	Culture pure
Step-by-step design	Conception pas-à-pas

Introduction générale

L'agriculture est partout confrontée à un besoin impérieux d'innovation. Que ce soit pour mieux nourrir une population croissante, pour atténuer le changement climatique ou pour s'y adapter, l'agriculture doit faire face, et même anticiper les enjeux majeurs de notre époque (Meynard et al., 2012).

Dans de nombreux pays, les « révolutions vertes » ont permis de transformer les économies rurales et d'augmenter la productivité, grâce notamment à la mécanisation, à l'intensification en intrants chimiques (engrais et produits phytosanitaires), et aux variétés à haut potentiel de rendement (Pellegrini and Fernández, 2018). En Europe, après la Seconde Guerre mondiale, une augmentation importante de la productivité agricole était essentielle pour atteindre la sécurité alimentaire et une réduction des prix des aliments pour les citoyens en nombre croissant, et pour libérer de la main-d'œuvre pour l'industrie. Pour cela, les politiques publiques ont soutenu une stratégie de standardisation des pratiques et d'artificialisation des milieux par les intrants (Pellegrini and Fernández, 2018). En Asie et en Amérique latine, les révolutions vertes ont été encouragées, au cours des années 1960-1990, par le biais d'investissements publics massifs (Dawson et al., 2016). Dans le monde, on estime que les révolutions vertes ont permis de tripler la production de céréales, avec une augmentation de 30 % seulement de la superficie cultivée (Pingali, 2012).

Toutefois, dans les pays d'Afrique Sub-saharienne, la révolution verte n'a eu lieu que partiellement, sans atteindre ses objectifs. Les raisons classiquement avancées sont le manque de capacités humaines et institutionnelles, ainsi que les politiques d'ajustement structurel, qui ont soumis les producteurs¹ à des prix bas et instables, et empêché les investissements publics, notamment dans les infrastructures (Dawson et al., 2016). A cela, on peut ajouter les aléas climatiques et la fragilité des milieux, de plus en plus prégnants (Hoogmoed and Klaij, 1990). En outre, une standardisation des pratiques et leur diffusion verticale ne permettent pas de prendre en compte la diversité des producteurs et de leurs situations agronomiques (Meynard et al., 2012). Finalement, l'intensification en intrants n'a permis qu'à très peu de producteurs de sortir de la pauvreté (Dawson et al., 2016). Si certains considèrent qu'une révolution verte, menée avec une approche adaptée au contexte africain, pourrait permettre au continent d'assurer sa sécurité alimentaire (Ajakaiye and de Janvry, 2010 ; Otsuka and Kijima, 2010), d'autres estiment qu'en défavorisant l'agriculture paysanne, les révolutions vertes exacerbent les inégalités, tout en limitant la résilience de l'agriculture face au changement climatique (Holt-Giménez and Altieri, 2013). L'Afrique Sub-Saharienne est aujourd'hui confrontée à la fois à des problèmes de productivité et à une dégradation de ses ressources due à une gestion non durable des systèmes agricoles et écologiques, aggravée par le changement climatique. Les options classiques d'intensification répondent mal à cette situation.

¹ Nous utilisons dans ce document le terme de producteur pour désigner l'ensemble des agriculteurs et éleveurs, hommes et femmes, sans distinction de taille (agriculture vivrière, commerciale, etc.).

Partout dans le monde, depuis plusieurs décennies, l'agriculture intensive en intrants de synthèse est remise en question, et il est maintenant clairement établi qu'elle porte une responsabilité importante dans la détérioration de l'environnement (pollution de l'eau, du sol et de l'air, érosion de la biodiversité, épuisement des ressources naturelles, etc.) (Millennium Ecosystem Assessment and World Health Organization, 2005). On assiste à la montée en puissance des enjeux de protection de l'environnement et d'économie de ressources, que ce soit par une « révolution doublement verte » comme cela est souvent proposé en Afrique sub-saharienne (Fok and Griffon, 1998), ou par un changement de paradigme plus radical, avec une transition vers l'agroécologie (Holt-Giménez and Altieri, 2013). La préservation de l'environnement fait partie des huit Objectifs du millénaire pour le Développement Durable (ODD) de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), votés en 2000 (FAO, 2000). En 2018, la FAO cherche à « passer à l'échelle supérieure » en proposant « l'agroécologie au service des ODD », qui sera le thème du deuxième Symposium international sur l'agroécologie, à Rome en 2018 (HLPE, 2019). Nous prenons le parti, dans cette étude, d'aller dans la direction d'une intensification agroécologique de la production.

L'agroécologie au sens de Francis et al., 2003 (c'est-à-dire une écologie de l'ensemble du système alimentaire), repose sur une approche systémique et interdisciplinaire, à l'interface des sciences de la nature et des sciences sociales. Elle s'impose pour mettre en œuvre des alternatives permettant d'allier productivité et respect des ressources naturelles, tout en évitant les externalités sociales négatives. Méndez et al. (2013) vont même plus loin, en promulguant les caractéristiques transdisciplinaires, participatives et orientées vers l'action de l'agroécologie. En effet, une agriculture respectueuse de l'environnement et assurant un revenu décent aux paysans doit être mise en œuvre avec les acteurs, afin de prendre en compte la diversité des situations agronomiques, ce qui ne laisse pas de place aux techniques standardisées, et pour que les producteurs puissent voir les changements nécessaires comme une opportunité, et non comme une contrainte imposée (Meynard et al., 2012). Ainsi, il ne s'agit plus de diffuser des techniques, mais d'accompagner les acteurs dans la mise en place de systèmes agroécologiques adaptés à leur situation.

Cette thèse en agronomie repose sur une approche de recherche-action visant à accompagner des producteurs ouest-africains dans un processus d'innovation vers des systèmes plus agroécologiques. Nous proposons et analysons une démarche adaptée de conception participative de systèmes de culture innovants, prenant en compte les producteurs et leurs situations dans leurs diversités.

PARTIE 1 : Problématique de recherche

1. L'innovation agronomique dans le contexte de l'Afrique Sub-saharienne

1.1. Accompagner le changement en aidant les acteurs à innover

1.1.1. Le changement par la conception

Pour faire face aux puissants facteurs de changement cités en introduction, les agronomes se mobilisent pour la mise au point de solutions innovantes en s'intéressant en particulier aux processus de conception (Meynard et al., 2012). La conception est une étape clé du processus d'innovation, que Prost et al. (2017) définissent comme un processus actif, structuré autour de boucles de rétroaction, et orienté vers un but d'invention et de mise en œuvre d'objets n'existant pas encore dans le contexte de travail.

On peut distinguer différents types de conception.

Conception réglée ou conception innovante

Les sciences de gestion distinguent, selon le processus suivi, la « **conception réglée** » (« rule-based design »), qui consiste en l'amélioration incrémentale de produits ou technologies existantes, et la « **conception innovante** » (« innovative design »), qui vise l'invention de produits ou procédés radicalement nouveaux, répondant à des attentes nouvelles (Le Masson et al., 2006). Dans le contexte rappelé en introduction, la conception réglée ne suffit plus car elle ne permet pas les ruptures nécessaires pour aller vers des systèmes plus durables. Il est donc nécessaire de développer des démarches de conception innovante. Pour cela, il faut sortir des schémas de pensée habituels, des « fixations » des agronomes aussi bien que de celles des acteurs, de manière à revisiter l'identité des objets en train d'être conçus. Cette conception doit donc se faire avec les acteurs de terrain, et si possible une large variété d'entre eux, de manière à ouvrir le champ des possibles. Du fait du changement des objectifs de conception, il n'est pas possible de complètement spécifier à l'avance les compétences qui seront nécessaires ni les méthodes de validation (Le Masson et al., 2006).

Conception « de novo » ou conception « pas-à-pas »

Concernant les modes de production agricole, Meynard et al., 2012 différencient deux méthodes de conception innovante : la conception « de novo » et la conception « pas-à-pas », qui se différencient sur les processus suivis.

La conception "de novo" vise à concevoir des systèmes de culture ou d'exploitation agricole qui se démarquent des systèmes existants. Elle consiste à ouvrir le champ des possibles, sans chercher à être immédiatement opérationnels, afin de pouvoir proposer des modifications majeures et des techniques

souvent très éloignées de celles habituellement utilisées (Meynard et al., 2012). La conception assistée par modèle est un moyen très efficace de faire fonctionner la conception de novo : des modèles de systèmes de culture, de systèmes d'élevage ou d'exploitations agricoles sont utilisés pour simuler de manière dynamique les performances des objets étudiés soumis à divers choix techniques et économiques (Le Gal et al, 2012 ; Andrieu et al., 2015). Les options techniques conçues avec l'aide d'outils de simulation sont ensuite testées et ajustées sur le terrain, comme c'est le cas pour l'approche DEED (pour Describe, Explain, Explore and Design) qui utilise généralement les outils de simulation pour inventer les prototypes à tester (Falconnier et al., 2017 ; Descheemaeker et al., 2019). Cependant, les prototypes peuvent également être conçus à l'aide d'ateliers, réunissant en particulier agronomes et producteurs, puis testés, sélectionnés, améliorés et validés en milieu réel (Lançon et al., 2007). Dans cette optique, Vereijken, 1999 décrit sa méthode de prototypage de systèmes de culture suivant cinq grandes étapes : (1) hiérarchisation des objectifs à atteindre par les différents acteurs (agriculteurs, techniciens, ONG, chercheurs), (2) traduction de ces objectifs en indicateurs quantifiables et établissement d'une méthode d'évaluation multi-objectifs, (3) conception d'un prototype théorique assemblant des pratiques sélectionnées selon les objectifs à atteindre, (4) expérimentation au champ et adaptations éventuelles jusqu'à ce que le prototype soit conforme aux objectifs quantifiés souhaités, (5) dissémination des prototypes en collaboration avec les agriculteurs. L'approche DATE (Husson et al., 2016) repose également sur le test de prototypes proposés par les agronomes dans ce qui est appelé des « matrices », ayant pour but de tester une grande variété de systèmes de culture, pour en sélectionner les meilleurs, et les améliorer. Cette méthode est surtout utilisée pour des systèmes en agriculture de conservation, donc souvent très en rupture avec ce qui est pratiqué localement.

Les démarches de « conception pas-à-pas » (« *step-by-step design* ») ont pour but d'organiser une transition progressive vers des systèmes de culture innovants grâce à des boucles d'apprentissage. La conception pas-à-pas commence par un diagnostic initial sur les pratiques actuelles, afin de comprendre en quoi elles doivent être améliorées, suivi par la mise en œuvre d'options techniques pouvant répondre au diagnostic. Puis un nouveau diagnostic est établi, de nouvelles évolutions des systèmes suivent, s'engageant ainsi dans une spirale d'amélioration continue (Meynard *et al.*, 2012). Ces améliorations pas-à-pas du système peuvent aboutir à des changements profonds par l'accumulation de petites transformations : Deffontaines et al., 2020 montrent que l'adoption de pratiques élémentaires peut faire partie d'une trajectoire de changement permise par l'acquisition graduelle de nouveaux savoirs. Ce type de trajectoire est particulièrement pertinent lorsqu'on veut effectuer un changement de paradigme avec de nouvelles pratiques « knowledge-intensive » comme c'est le cas de l'agroécologie (Toffolini et al., 2017).

Dans les démarches de prototypage, le prototype initial est généralement créé « de novo » car un nouveau système (de culture, d'élevage, de production...) est inventé, mais sans proposition sur la transition entre le système actuel et le système inventé. Les prototypes peuvent ensuite être améliorés de manière

incrémentale, « pas-à-pas », on est donc dans une combinaison entre les deux types de conception, ce qui est souvent le cas en situation opérationnelle.

Dans notre étude, nous cherchons à conduire la transition vers des systèmes en rupture, qui ne sont pas connus à l'avance, c'est-à-dire à faire de la **conception innovante**. Cependant nous privilégions une approche correspondant aux caractéristiques du changement en Afrique de l'Ouest, c'est-à-dire évitant des changements qui nécessiteraient des investissements importants ou l'utilisation de ressources peu accessibles. Pour cela, nous proposons de **combinaison de conception de novo et conception pas-à-pas**, en proposant de novo des options techniques, qui seront adaptées progressivement aux conditions des producteurs par un processus de **conception pas-à-pas**.

1.1.2. La conception participative

En agronomie, l'approche descendante de l'innovation (l'agronome innove, l'agriculteur applique) constitue une tradition fortement ancrée, comme le soulignent Salembier et al. (2018). Cependant, il est généralement admis aujourd'hui que faire participer les acteurs à la résolution de leurs problèmes augmente les chances de réussite. L'idée d'une science « objective », capable de définir et de résoudre des problèmes liés à l'humain (comme c'est le cas sur les problématiques agricoles et rurales), est de plus en plus remise en question. Les parties prenantes sont reconnues comme légitimes, non seulement pour participer à la résolution des problèmes, mais également pour questionner le travail des scientifiques (Faure et al., 2010b). Avec ce changement de paradigme, un certain nombre de chercheurs se sont employés à étudier les meilleures manières de faire participer les acteurs à des démarches d'innovation participative et de recherche-action, visant à valoriser les savoirs des acteurs (Faure et al., 2010b).

Les différents degrés de participation

Il existe de nombreuses échelles traduisant des degrés de participation (Gouttenoire et al., 2014). Parmi celles-ci, une des plus connues est l'échelle de Biggs, avec 4 types de relation entre les agriculteurs et les chercheurs agronomes selon un gradient croissant de participation (Lilja and Bellon, 2008) :

- **Relation contractuelle** : l'agriculteur loue ou prête ses services ou ressources aux chercheurs (par exemple une parcelle)
- **Relation consultative** : les chercheurs consultent les agriculteurs, font un diagnostic de leurs problèmes afin de leur proposer des solutions.
- **Relation collaborative** : Les chercheurs et les agriculteurs sont partenaires dans le processus de recherche collaborent dans la mise en place des activités tout au long du processus
- **Relation collégiale** : Les chercheurs encouragent la mise en place d'un processus informel de recherche et de développement par les producteurs.

Une même démarche peut être utilisée de manière plus ou moins participative et ainsi aboutir à des résultats très variés. C'est le cas par exemple des « champs-écoles » ou « Farmer field schools » (FFS), initialement proposés par la FAO dans les pays en voie de développement, qui constituent un outil d'accompagnement des producteurs, via une parcelle « école » permettant leur participation. Dans certains cas, les producteurs sont impliqués de manière collaborative dès la phase de diagnostic sociotechnique, qui va permettre d'établir les objectifs du champ-école, ainsi que dans le choix des pratiques mises en place. Les producteurs ont alors un pouvoir décisionnel dans le processus. Dans d'autres cas, ce sont les agronomes qui établissent le curriculum à partir de leur diagnostic d'expert, souvent centré sur la pertinence agronomique, en établissant eux même les contraintes et les objectifs socio-économiques des paysans. Ici, la relation agriculteur agronome se rapproche d'une relation formés-formateurs. Bakker et al., (2021) montrent que les champs écoles peuvent d'autant mieux permettre un processus d'apprentissage transformatif (Duveskog et al., 2011) que les producteurs sont impliqués dans la prise de décision.

Mise à part certains cas où les politiques publiques s'engagent fortement (exemple de la révolution verte, cf. introduction), les démarches dites « top-down », ou privilégiant des relations contractuelles ou consultatives, aboutissent rarement à des changements durables (Birner et al., 2009). En revanche des approches très participatives, de type collaboratives ou collégiales, se sont montrées pertinentes pour accompagner le changement et l'innovation (Vall et al., 2016). En effet, il existe un lien fort entre l'implication des acteurs dans le processus de conception et la légitimité des innovations :

- La participation des producteurs permet notamment de prendre en compte leurs critères d'évaluation, ce qui permet de travailler sur des systèmes pertinents pour eux (Salembier et al., 2016; Lairez et al., 2020). Par exemple, Andrieu et al. (2015) montrent qu'au Burkina Faso, les producteurs sont attentifs aux aspects opérationnels et à la flexibilité de leur système de production, ce qui les aide à s'adapter au changement climatique : au-delà des performances agronomiques, ce sont des critères importants à prendre en compte pour la conception d'innovations.
- Un haut degré de participation permet aux acteurs de se mobiliser et de se responsabiliser vis-à-vis des innovations. Pour cela, les acteurs doivent être partie prenante dès le début de la conception, par exemple via un dialogue constant avec les agronomes (Cerf et al., 2012). Ces échanges entre agriculteurs et agronomes permettent un processus de co-apprentissage (Falconnier et al., 2017) et une hybridation entre savoirs scientifiques et savoirs paysans (Berthet et al., 2016), nourrissant la conception. Les savoirs des producteurs sont souvent spécifiques du contexte local, on les qualifie de situés (« situated knowledge ») (Toffolini et al., 2017). Lorsqu'ils sont ainsi mobilisés pour la conception et la mise en place d'un nouveau système, il s'agit de savoirs dits « actionnables » (Leclère et al., 2018).

Co-conception et conception distribuée

Il existe différentes manières de concevoir avec les acteurs. En ergonomie, Darses et Falzon (1994), distinguent les activités de co-conception des activités de conception distribuée, selon la manière dont les différents acteurs sont impliqués dans le processus de conception, sachant que les deux types de situation peuvent se succéder dans un même processus de conception. Dans la co-conception, les acteurs de la conception « développent la solution conjointement : ils partagent un but identique et contribuent à son atteinte grâce à leurs compétences spécifiques, avec des contraintes très fortes de coopération directe pour garantir le succès de la résolution du problème. ». Dans la conception distribuée, « les acteurs de la conception sont simultanément (mais non conjointement) engagés sur le même processus de coopération accomplissent des tâches bien déterminées, celles-ci ayant été allouées préalablement, et poursuivent donc des buts (ou du moins des sous-buts) qui leur sont propres, tout en ayant pour objectif de participer le plus efficacement possible à la résolution collective du problème » (Darses and Falzon, 1994).

Dans notre étude, nous proposons d'initier le processus de **conception innovante** en proposant des options innovantes aux producteurs, que ceux-ci adapteront sur leur exploitation. Nous alternerons des phases de **co-conception** d'options techniques (par exemple, conception par les agronomes avec la prise en compte des propositions des producteurs), et des phases de **conception distribuée** (ici, conception pas-à-pas pilotée par différents producteurs, chacun sur son exploitation).

Des démarches participatives pour nourrir la conception

Différentes démarches participatives ont été développées pour favoriser l'émergence de savoirs utiles à la conception. En voici quelques exemples.

La **traque aux innovations**, qui repose sur l'étude de pratiques alternatives, originales, hors normes, mises en place par des producteurs de la zone étudiée (Salembier et al., 2016, Blanchard et al., 2017) peut être utilisée afin de produire des ressources pour la conception de nouvelles alternatives. De manière générale, la traque aux innovations comprend trois étapes essentielles (i) la caractérisation des pratiques courantes dans la zone étudiée, (ii) l'identification des agriculteurs mettant en œuvre des pratiques dites atypiques ou innovantes significativement différentes des pratiques courantes, puis (iii) la caractérisation de ces pratiques et l'identification de la logique agronomique sous-jacente (cohérence entre les pratiques et les critères d'évaluation). Salembier et al. (2016) décrivent les systèmes alternatifs à la monoculture de soja OGM en Argentine. L'étude met en lumière les logiques agronomiques de ces systèmes de culture alternatifs ou « innovants », et analyse les conditions de développement des systèmes les plus performants et durables. Blanchard et al., 2017, qui étudient les pratiques atypiques de gestion des fumures organiques au Burkina Faso, montrent que les pratiques atypiques, identifiées lors de la traque, ne sont pas en rupture avec le système dominant, mais permettent aux producteurs d'atteindre de nouveaux objectifs grâce à des

adaptations progressives des pratiques recommandées. Verret et al. (2020) présentent une traque portant sur les associations à base de légumineuses. Cet article va plus loin que les deux précédents en explicitant des connaissances actionnables et autres ressources nécessaires à la conception qui pourraient permettre à d'autres agriculteurs ou à des agronomes de concevoir leur propre système de culture en association. Dans sa thèse doctorale, C. Salembier (2019) montre que l'étude des pratiques innovantes des producteurs permet de générer, en vue d'alimenter la conception, des contenus agronomiques de natures variées, tels que des logiques d'action, des gammes d'options techniques ou des règles de décision.

Des **ateliers collectifs** en salle peuvent être organisés avec les acteurs de terrain suivant des méthodologies et objectifs variés. La première phase de partage de connaissance est classiquement l'objet d'**ateliers participatifs** au cours desquels les problèmes rencontrés par les producteurs et leurs causes sont discutés (Vall et al., 2016). Parfois des solutions techniques y sont évaluées de manière participative, mais les participants ne sont pas amenés à proposer ou explorer des options innovantes, à la différence des **ateliers de conception** qui ont pour objectif de « *construire des systèmes de culture innovants en vue d'atteindre des objectifs renouvelés, orientés vers des enjeux émergents, puis d'évaluer a priori leurs performances selon les priorités des agriculteurs, des filières, et de la société* » (Reau et al., 2012). Ce type de conception implique une évaluation multicritère qui peut se faire à l'aide de différents outils (Lairez et al., 2015). Les **atelier KCP** qui, originellement, ont été développés pour l'innovation industrielle, ont également un objectif de conception participative et sont organisées en trois phases : (i) Partage des connaissances et identification des lacunes en matière de connaissances; (ii) Exploration de nouveaux concepts; et (iii) Élaboration d'une feuille de route pour mettre en œuvre les différentes options (Berthet et al., 2016). Dans ces différents types d'ateliers de conception, il y a une véritable volonté d'établir un processus de co-conception avec les acteurs.

D'autres types d'ateliers s'appuient sur des modèles (au sens de représentation simplifiée de la réalité) afin de favoriser les apprentissages collectifs. C'est par exemple le cas de l'approche **modélisation d'accompagnement** ComMod (companion modelling approach) (Campo et al., 2010). Des modèles multi-agents sont utilisés comme « outils de représentation et de simulation du fonctionnement des socio-écosystèmes, qui aident à franchir les frontières disciplinaires pour étudier les processus de coordination entre acteurs et de décision collective » (Étienne et al., 2014) dans des jeux de rôles. Les **jeux sérieux** (serious game) peuvent également être utilisés, par exemple sous forme de jeux de plateau permettant de créer des combinaison innovantes d'options techniques ou organisationnelles (Rami Fourrager (Martin, 2015)), ou sous forme de jeux de cartes facilitant le diagnostic des contraintes et objectifs des producteurs (Lairez et al., 2020).

Des **activités collectives au champ** peuvent également faciliter la participation des agriculteurs à la conception. C'est le cas par exemple des **visites commentées**, ou « field-days » dans lesquels des producteurs observent, commentent, questionnent et souvent évaluent des essais gérés par des agronomes. Ce type

d'activité peut être utilisé pour la dissémination d'une pratique (Amudavi et al., 2009), mais aussi pour une évaluation multicritère participative des prototypes testés, dans lesquels les producteurs évaluent les systèmes, sur des critères proposés par les chercheurs (De Groote et al., 2010, Husson et al., 2016), ou sur des critères des producteurs, déterminés en amont (Lairez et al., 2020) ou directement pendant l'activité. Ces visites commentées peuvent être organisées dans des **expérimentations-système**, qui sont des essais comparant différents itinéraires techniques ou systèmes de culture et non pas de simples traitements basés sur une technique : chaque traitement expérimental correspond à un ensemble de pratiques élémentaires cohérentes entre elles. Ce type d'expérimentation permet de « tester des modes de production innovants, en mimant la manière dont un agriculteur les mettrait en œuvre » (Havard et al., 2020). C'est l'ensemble du système de culture qui est évalué.

Les **essais paysans** (« on-farm trials ») permettent d'aller plus loin dans le degré de participation puisqu'ils sont mis en place par les producteurs eux-mêmes (Ashby, 1987; Eldon et al., 2020). Ces essais peuvent parfois être collectifs, comme c'est le cas avec les champs-écoles, mais sont plus généralement individuels. Ils permettent aux producteurs d'évaluer les performances des pratiques qu'ils expérimentent et surtout d'apprendre sur ces pratiques, dans le but de se les approprier et les mettre en place de manière durable (Navarrete et al., 2018). C'est un des outils utilisés dans l'approche DEED pour la conception d'options techniques innovantes : les options techniques sont testées par les producteurs, puis évaluées et améliorées, et à nouveau testées par les producteurs (Falconnier et al., 2017). Plus rarement, les producteurs sont explicitement laissés libres d'adapter les systèmes proposés à leurs propres conditions dans des « farmer-managed adaptation trials » (Ronner et al., 2017 utilisant aussi l'approche DEED). Pour reprendre le terme de Ronner et al. (2017), nous appelons ce type d'expérimentations paysannes servant de support à la conception/adaptation par le producteur des « **Farmers' Adaptation Trials** » (FAT).

Accompagner la conception par les producteurs

Le Gal et al., 2011 distinguent différentes postures adoptées par les agronomes en situation de conception. Les « design oriented methods » regroupent des travaux dans lesquels des chercheurs conçoivent eux-mêmes des systèmes techniques (systèmes de culture ou de production), pour proposer des alternatives à des agriculteurs ou conseillers, avec ou sans leur participation, alors que les « design support oriented methods » ont pour objectif d'accompagner des agriculteurs dans la re-conception de leurs systèmes techniques. Certaines des démarches de conception évoquées dans le point précédent (les expérimentations système, les visites commentées...) correspondent plutôt à des « design oriented methods ». En effet, ces méthodes servent à faciliter la conception par les agronomes grâce à des outils participatifs, leur permettant de prendre en compte les caractéristiques des systèmes de production dans leurs propositions. En revanche, la traque aux innovations, les ateliers de conception et les Farmer Adaptation Trials, ayant pour objectif de faire reposer la conception sur les producteurs, appartiennent plutôt aux « design support oriented methods ». En cherchant à accompagner les producteurs dans la re-conception

pas-à-pas de leur système de culture, nous nous situons parmi les « design support oriented methods ». Cette approche de la conception relève du régime de conception 5 « générer des prescriptions pour stimuler la conception de systèmes techniques par les agriculteurs » décrit par Salembier et al. (2018) et dans lequel l'agriculteur est considéré comme un concepteur.

En effet, Salembier et al. (2018) distinguent différents archétypes de régime de conception selon la posture de l'agronome et la façon dont il considère l'agriculteur. Ces régimes, qui sont apparus successivement depuis le XVIII^e siècle, se caractérisent par trois dimensions liées entre elles, que Salembier (2019) décrit comme étant : (i) « les intentions du concepteur », ses objectifs de conception, (ii) « le processus de génération de prescriptions », c'est à dire la manière par laquelle les contenus agronomiques et les nouvelles connaissances émergent et (iii) « les contenus agronomiques générés », que ce soit les contenus à visée prescriptive ou des connaissances scientifiques.

Dans le régime qui nous intéresse dans la suite de cette thèse (régime 5), les intentions des agronomes sont **de faciliter la conception de systèmes innovants par les producteurs**, par un processus de conception reposant sur un dialogue permanent avec les producteurs, que ce soit en collectif ou en individuel, afin de mutualiser les connaissances et savoir-faire. Ceci permet de générer un contenu agronomique fait de **propositions pouvant être mises à l'épreuve et adaptées par les producteurs**, ou de connaissances sur les conditions de faisabilité des propositions (Salembier, 2019). Un critère majeur de réussite des démarches relevant de ce régime est la capacité des producteurs à s'approprier et améliorer les innovations.

1.2. Les innovations sont contraintes par le système sociotechnique

1.2.1. Le système sociotechnique

Le processus d'innovations se déroule dans un « système sociotechnique », défini par un ensemble d'acteurs en réseau, leurs pratiques, leurs savoirs, les technologies qu'ils mobilisent, leurs représentations collectives, les normes et règles qu'ils se donnent (Meynard et al., 2017 d'après Rip and Kemp, 1997). D'après Geels, 2004, le système sociotechnique intègre des aspects sociaux et techniques en coévolution, tels que la technologie, l'économie, les institutions, ou les systèmes culturels, dont les interactions assurent une cohérence fonctionnelle, permettant de « remplir des fonctions sociétales ». De ce fait, ces systèmes, lorsqu'ils sont bien établis, ont tendance à conserver une cohérence dans leurs fonctions (Savaget et al., 2019), ne permettant l'émergence que d'innovations qui ne remettent pas en question le fonctionnement du système : Le système sociotechnique est alors enfermé dans une dépendance de sentier (« path dependency ») (Cowan and Gunby, 1996). Les innovations radicales, dont l'émergence ou l'adoption

supposeraient une remise en question des arrangements entre acteurs ou des normes dominantes, ont peu de chance de se développer (Meynard et al., 2017).

1.2.2. Lever les freins par la mise en place de plateformes d'innovation

Un des moyens de créer et de faciliter les interactions entre acteurs clés du système sociotechnique est la mise en place d'une **plateforme d'innovation**, qui rassemble un groupe d'acteurs ou d'organisations ayant des intérêts différents, autour d'une question les concernant tous. Selon l'enjeu, les participants à ces dispositifs multi-acteurs sont des agriculteurs, des conseillers techniques, des décideurs politiques, des chercheurs, des organisations non gouvernementales (ONG), des sociétés privées, etc. Les membres de la plateforme partagent l'objectif de définir, d'analyser et de hiérarchiser les problèmes, ainsi que d'explorer, de concevoir, de mettre en œuvre et de suivre les innovations techniques, organisationnelles et/ou institutionnelles, qui visent à résoudre ces problèmes (Dabire et al., 2017, Schut et al., 2018). Par exemple, en plus des réunions, la plateforme peut participer à la mise en place et au suivi d'expérimentations paysannes (Dabire et al., 2017). Ainsi, elles peuvent être un outil d'accompagnement de processus d'innovation couplée (Meynard et al., 2017), en permettant de stimuler et de coordonner des innovations en coévolution grâce à leur capacité à mobiliser des acteurs appartenant à différents réseaux et à s'adapter aux dynamiques locales (Kilelu et al., 2013).

En participant à lever les contraintes liées au système sociotechnique, cette approche est généralement plus efficace que le simple transfert d'innovations conçues par la recherche et développement (R&D), publics ou privés, vers les communautés agricoles, comme le montre Davies et al. (2017). Cependant, les expériences de mise en œuvre de plateformes d'innovation sur le terrain montrent leurs limites : elles peuvent être coûteuses et longues à organiser, et sont rarement durables en l'absence d'un financement extérieur, venant généralement d'un projet de développement (Dabire et al., 2017). En effet, lorsque le projet prend fin, les contraintes que la plateforme a contribué à minimiser resurgissent dans le système, compromettant la durabilité des innovations auxquelles elle a contribué. En outre, si les plateformes d'innovation permettent de travailler sur l'accès aux ressources nécessaires aux innovations en question, elles travaillent peu sur l'appropriation des innovations par les producteurs.

Dans ce travail, si nous cherchons à faire de la conception innovante, nous nous intéressons davantage à assurer **l'appropriation des innovations par les producteurs**, qu'à lever les freins liés au système sociotechnique. Nous évitons les dispositifs lourds tels que les plateformes d'innovation. L'objectif de notre approche est d'**aider les producteurs à changer de manière radicale leurs systèmes de culture, sans remettre en question le système sociotechnique dominant**. En d'autres termes, il s'agira de concevoir des systèmes de culture qui permettront aux producteurs de répondre à de nouveaux objectifs, tout en respectant les conditions locales d'accès aux ressources. C'est généralement le cas des innovations développées par les producteurs et mises en lumière lors des traques aux innovations.

1.3. Concevoir des systèmes de culture à l'échelle du village

1.3.1. Concevoir des systèmes de culture

L'expression « système de culture » peut avoir différents sens selon les courants historiques et le contexte dans lequel ce concept est utilisé (Papy, 2008). Dans cette étude, nous utilisons ce terme selon la définition proposée par Sebillotte (1990) pour qui un système de culture est « l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière identique. Chaque système se définit par : la nature des cultures et leur ordre de succession, les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés ». Toujours selon cet auteur, les itinéraires techniques se définissent comme une « combinaison logique et ordonnée de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée » (Sebillotte, 1974). En cohérence avec ces définitions, nous considérons les **pratiques** des agriculteurs comme étant « des réponses à des problèmes techniques concrets dans les différentes situations d'action rencontrées » (Papy, 2008). Il y a une cohérence forte, une interdépendance entre les pratiques, qui ne peuvent donc être étudiées de manière isolée, d'où l'emploi du terme « système ». Ainsi, concevoir des systèmes de culture, c'est concevoir une cohérence entre les choix techniques, le milieu, les ressources disponibles et les contraintes et objectifs des producteurs révélés par leur critères d'évaluation. La diversité des milieux, des ressources et des critères des producteurs est à l'origine de la diversité des systèmes de culture, et de manière plus générale, des systèmes de production.

1.3.2. Des systèmes de culture inclus dans des exploitations agricoles

En Afrique de l'Ouest, une **exploitation agricole** (EA) est gérée par une famille plus ou moins élargie, dont les différents membres travaillant sur l'exploitation (dits « actifs ») n'ont pas les mêmes pouvoirs de décision, ni les mêmes accès aux ressources de l'exploitation. En général, une exploitation est constituée de parcelles communes, dont la récolte va servir à nourrir l'ensemble de la famille, ou être vendue pour payer des frais communs comme l'achat d'équipement ; elle est gérée par le chef de famille (généralement l'homme le plus âgé) et l'ensemble des actifs de la famille y travaille selon des règles spécifiques à chaque exploitation ; parfois s'ajoutent des parcelles individuelles, gérées, avec l'autorisation du chef de famille, par un des membres de la famille (homme ou femme), qui peut y travailler après les travaux communs et qui pourra décider de l'utilisation de la récolte. L'accès aux ressources de l'exploitation, notamment concernant la main d'œuvre et les bœufs de trait, est plus aisé si la parcelle est commune, plutôt qu'individuelle, ou si elle est gérée par un homme plutôt que par une femme. Ces règles générales restent variables d'une région à une autre, d'une ethnie à une autre, mais de manière générale, le pouvoir de décision de chaque actif dépend de sa position dans la famille, et les ressources de l'exploitation sont inégalement réparties entre les actifs (Gafsi, 2007). Le lien entre ce qu'un agriculteur ou une agricultrice fait (en considérant comme

agriculteur toute personne gérant au moins une parcelle) et le type d'exploitation agricole auquel il appartient dépend de sa position dans la famille (homme ou femme ; jeune ou vieux).

Les limites physiques de l'exploitation agricole sont variables selon la saison de l'année, puisque les terres cultivées deviennent des pâturages communs pendant la saison sèche avec la vaine pâture, voire selon les années, en fonction des règles foncières en usage sur le territoire concerné (par exemple, une terre laissée en jachère peut dans certains cas être redistribuée par le chef de terre² à un agriculteur en ayant besoin). Les interactions entre le système de culture et son espace environnant sont donc à considérer sur l'ensemble du continuum parcelle-exploitation-territoire villageois, en intégrant les règles d'accès aux ressources négociées localement. Les producteurs sont dépendants de la gestion des pâturages et de la vaine pâture, sujets à négociation au niveau de la communauté, et potentiellement source de conflit (Milleville et al., 1995).

Ainsi, compte tenu de la grande variabilité des situations, il est difficile de définir précisément l'unité correspondant à l'exploitation agricole. Nous retiendrons ici la définition de Kleene, 1976 établie en milieu wolof (Sud Mali) qui considère l'exploitation agricole familiale africaine comme « une équipe familiale de travailleurs cultivant ensemble au moins un champ principal commun auquel sont liés ou non, un ou plusieurs champs secondaires, d'importance variable selon les cas et ayant leur centre de décision respectif ».

1.3.3. Diversité et dynamique des exploitations agricoles au sein d'un territoire

Au Sud comme au Nord, les exploitations agricoles sont dynamiques et diverses, elles évoluent selon des **trajectoires non linéaires propres à chacune**. En Afrique de l'Ouest, les exploitations familiales sont influencées par l'évolution démographique de la famille, et par l'évolution des relations entre ses membres (par exemple, un fils peut décider de créer sa propre exploitation), mais également par les changements dans l'environnement économique et social local et régional, voire national ou mondial. Bien que partageant un même environnement, les exploitations d'un même village ont des trajectoires, des caractéristiques (surfaces cultivées, nombre d'animaux, nombre d'actifs, équipements), des accès au foncier, ainsi que des modalités de gestion variées et spécifiques (Gafsi, 2007).

Cela étant, l'échelle du village présente une homogénéité intéressante à prendre en compte, notamment concernant le milieu naturel (conditions pédoclimatiques), ainsi que les règles d'accès aux ressources communes (gestion des terres communes par le pâturage, présence d'un barrage permettant l'irrigation, proximité d'une route facilitant le commerce, etc.) confrontant l'ensemble hétérogène des exploitants agricoles à des contraintes et opportunités communes (Dabire et al., 2017), et à un même système sociotechnique.

²Selon les ethnies, la personne responsable des terres peut être le chef du village ou une autre personne, appelée "chef de terre". On s'adresse à lui pour obtenir de nouvelles terres. Dans la zone d'étude, les producteurs ont l'usufruit de leur terre, ils peuvent la louer à d'autres producteurs, et la transmettre à leur descendance, mais pas la vendre. (sources : études non publiées, entretiens).

Dans cette étude, nous travaillons avec deux collectifs de producteurs ayant des parcelles sur 2 territoires villageois, en considérant que chaque village est soumis à un système sociotechnique. Nous avons cherché à ce que chacun des collectifs soit diversifié, impliquant une grande variété de types d'exploitations.

2. Contexte de l'étude : la zone cotonnière du Burkina Faso

2.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est constituée par la **province de Tuy** (Figure 1), qui fait partie de la zone de production cotonnière ouest du Burkina Faso, et couvre une superficie d'environ 5600 km². La province est traversée par l'axe routier N1 reliant les deux plus importantes villes du pays : la capitale Ouagadougou et Bobo-Dioulasso. La préfecture de la province du Tuy, Houndé, située à 100 km de Bobo-Dioulasso est une ville économiquement dynamique grâce à l'axe routier majeur qui la traverse. Cette ville a connu d'importants changements socio-économiques et démographiques ces dernières années, du fait de l'ouverture d'une mine d'or importante qui a eu des impacts sur de nombreux secteurs, y compris le secteur agricole (rachat de terres arables, coût d'opportunité pour la main d'œuvre...) et a été source de conflits (Engels, 2018). La province est divisée en six communes portant chacune le nom de la ville ou du village le plus important de la commune (Figure 1).

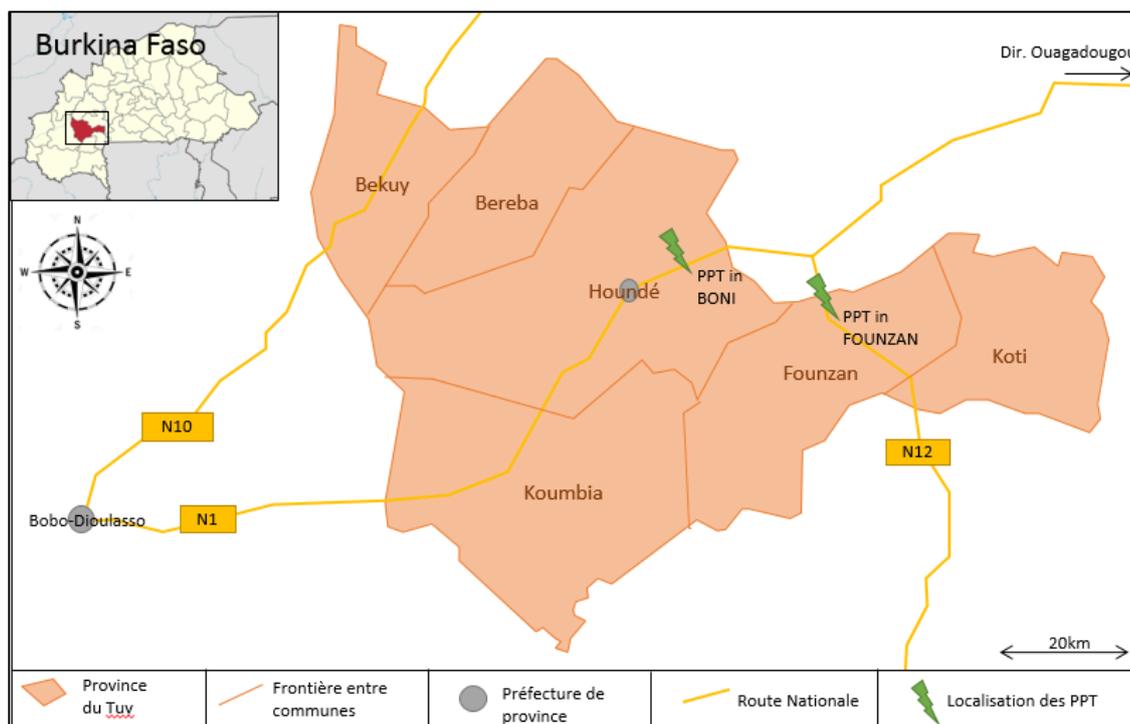


Figure 1 : Carte de la Province du Tuy, avec ses six communes, et la localisation des Essais de Prototypages Participatifs (PPT) à Boni et Founzan

Cette zone est caractérisée par un climat soudano-sahélien, avec une saison des pluies uni-modale qui dure de juin à octobre. La pluviométrie moyenne varie entre 850 et 950 mm par an (Figure 2), avec une forte variabilité interannuelle.

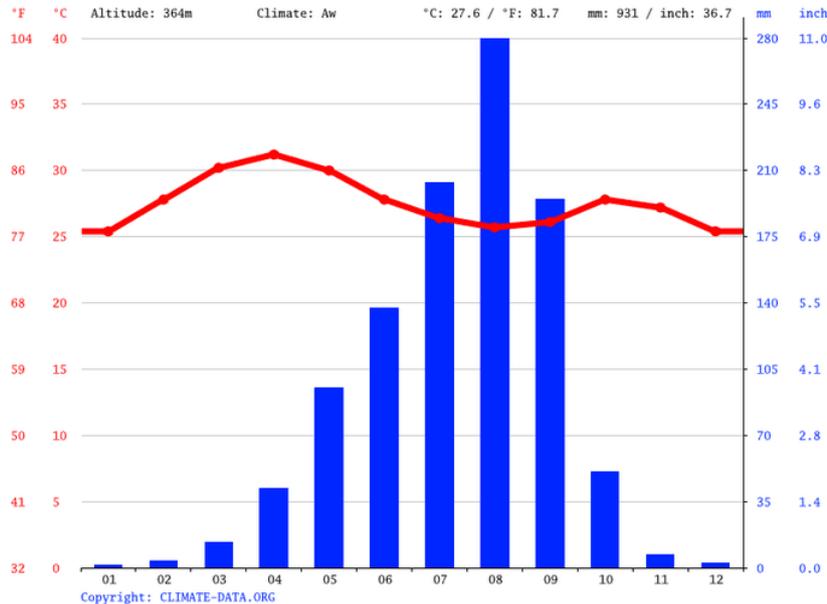


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Boni, situé dans la Province du Tuy, Données 1982-2012 (source : <https://fr.climate-data.org/afrique/burkina-faso/hauts-bassins/boni-490322/>)

Avec le changement climatique en cours, la **saison des pluies** a tendance à commencer plus tard et les pluies deviennent moins fréquentes, plus irrégulières, et plus violentes (Ibrahim et al., 2014), ce qui aggrave l'épuisement des sols, en augmentant l'érosion naturelle. Les précipitations devenant de plus en plus erratiques, il est difficile pour les agriculteurs de décider du moment des semis (Vall et al., 2008). Cette augmentation de l'aléa climatique est un facteur important pour la compréhension des dynamiques agraires de la zone.

Les **sols** de la zone sont de type ferrugineux. Ces sols, assez hétérogènes, sont généralement peu profonds et sujets à l'érosion hydrique, leur réserve en eau utile est faible et, s'ils peuvent présenter une bonne teneur en matière organique en surface (1.5%), ils sont pauvres en azote, phosphore et potassium et doivent être fertilisés, notamment pour le coton et le maïs (FAO, 1998). La végétation naturelle est constituée de forêts claires et de savanes arborées (mélange d'épineux comme les acacias, de karités, de nérés et de kaïcedrats) et arbustives (Jahel et al., 2018).

En 2014, près de 50% de la superficie de la province était cultivée (Jahel et al., 2018). Les exploitations agricoles de la province de Tuy sont généralement de petite taille (moins de 10 ha), tirant la majorité des revenus de la production de coton (*Gossypium hirsutum*) et des surplus de céréales, principalement maïs (*Zea mays*) et sorgho (*Sorghum bicolor*) (Andrieu et al., 2015). Les systèmes agricoles restent relativement peu diversifiés et produisent principalement du coton (Coulibaly et al., 2012). La production repose sur de courtes

rotations (coton-maïs), la traction animale, les engrais et les herbicides. En 2018, une étude menée sur 300 exploitations agricoles de la province du Tuy montre que le coton représente 40% des terres cultivées, le maïs en représente 30 %, le sorgho 14 % et les légumineuses 8 % (étude du Projet Glofood RELAX). Dans la zone cotonnière, la Société Burkinabè des Fibres Textiles (SOFITEX) structure le marché et a un poids économique important dans l'élaboration du revenu des producteurs. Le principal accès aux engrais se fait par l'intermédiaire de la SOFITEX, qui passe des contrats avec les producteurs de coton, fournit des semences et des engrais pour la production de coton et de maïs (pour l'équivalent maximal d'un tiers des superficies de coton) (Andrieu et al., 2015), sous forme de crédits de campagne remboursés avec la récolte. Les engrais chimiques sont difficiles à obtenir en dehors de la SOFITEX (Porgo et al., 2018), et les agriculteurs qui ne cultivent pas le coton n'utilisent généralement pas d'engrais minéraux. Cependant, même lorsque les engrais sont accessibles, leur utilisation compense mal la perte de fertilité organique des sols (Tittonel et al., 2007, Kintché et al., 2015b). La SOFITEX apporte également un appui technique pour améliorer la production (Guenot et Huchet-Bourdon 2014), mais pour bénéficier de ces soutiens (crédits, conseils), les agriculteurs doivent faire partie d'un groupe à responsabilité partagée, où ils sont garants les uns des autres (Gray et al., 2018) : les agriculteurs les plus pauvres, étant considérés comme moins solvables par les autres producteurs, ne sont pas facilement acceptés dans ces groupes. Encouragés par la SOFITEX, les producteurs de la zone cotonnière se sont spécialisés dans la rotation maïs-coton, mécanisée en traction animale à partir des années 1970 (Jahel et al., 2018). Grâce à sa bonne réponse à la fertilisation et à un marché en expansion, la culture du maïs s'est rapidement développée dans la région, et le maïs est devenu la principale céréale consommée par les ménages, ce qui a participé à marginaliser les cultures de légumineuses. Ainsi, la zone s'étant économiquement spécialisée dans la production de coton, les innovations sont contraintes par cette filière (Audouin et al., 2018), pilier du système sociotechnique dominant.

L'arachide (*Arachis hypogaea*) et le niébé (*Vigna unguiculata*) sont les principales **légumineuses** cultivées, mais dans des quantités très limitées par rapport aux autres régions du Burkina Faso (Dabat et al., 2012). En effet, l'arachide, le niébé, et en moindre quantité le pois de terre ou pois Bambara (*Vigna subterranea*) et le soja (*Glycine max*), sont principalement cultivés par les femmes, lorsqu'elles ont accès à une terre, ce qui est loin d'être systématique, sur de petites surfaces (généralement entre 0.1 et 0.5ha par espèce) pour la consommation du ménage. Dans ce cas, il arrive souvent que les légumineuses soient semées sur la même parcelle chaque année, sans réelle réflexion sur des rotations avec d'autres cultures.

Dans les communautés que nous avons étudiées, l'**élevage** est principalement pratiqué par des éleveurs peulhs sédentarisés. La vaine pâture y est pratiquée durant la saison sèche : après les récoltes, les agriculteurs ramassent une partie des résidus pour nourrir leurs animaux ; puis les bovins et les petits ruminants de l'ensemble du village sont relâchés, et peuvent brouter les résidus de culture ou les récoltes laissées. Les animaux paissent librement jusqu'au début de la saison des pluies, lorsque les agriculteurs commencent à labourer. Malgré l'accroissement du cheptel et le développement de la polyculture-élevage

(Vall et al., 2017), les animaux ne produisent pas suffisamment de fumier pour que les agriculteurs puissent fertiliser tous leurs champs avec du fumier.

Cependant, des systèmes de polyculture-élevage se sont développés dans la zone cotonnière, à partir des années 1960 via la traction animale encouragée par la SOFITEX pour faciliter le travail du sol (Figure 3) puis, progressivement à partir des années 1990, avec des animaux d'élevage (Vall et al., 2017). Les bœufs de trait sont dans la plupart des cas gardés à la ferme et nourris avec les résidus de culture. Les bovins d'élevage sont, selon leur nombre, soit gardés par des membres du ménage (généralement des enfants), soit confiés à des éleveurs peulhs, dont l'activité principale est l'élevage. Les éleveurs peulhs ont pour activité principale l'élevage bovin, ils produisent des céréales principalement pour la consommation du ménage et utilisent les résidus comme fourrage, font rarement du coton, et n'ont pas recours aux engrais minéraux, la production de fumure organique de leur cheptel étant largement suffisant pour leurs cultures. En général, les agriculteurs qui parviennent à investir dans l'élevage sont ceux qui se sont enrichis grâce à la culture du coton (BAINVILLE, 2009), et qui cherchent à réduire les risques liés à la dégradation des sols et à s'affranchir du système dominant en diversifiant leur activité.

Les **interactions entre agriculture et élevage** sont très fortes, et fortement liées à la gestion des ressources communes. Ainsi, en saison sèche c'est la vaine pâture qui est pratiquée, alors qu'en saison humide les animaux sont parqués sur des terres de pâturage communes, et nourris avec les résidus de cultures. Cela a pour intérêt de pouvoir valoriser au moins une partie de la fumure organique sur les cultures, mais cause de fortes compétitions sur les biomasses produites, qui deviennent une ressource commune après la récolte.



Figure 3 : Travail du sol pour la préparation de la parcelle, par billonnage avec un charrue attelée à 2 bœufs de traits, dans la zone cotonnière du Burkina Faso, 2017 (Photo : T. Bakker)

Ainsi, dans cette zone où la pression sur les terres arables se fait de plus en plus importante (Jahel et al., 2015), les jachères deviennent de plus en plus rares. Ainsi, entre des rotations courtes et peu diversifiées, des exports importants de biomasse (ramassée, brûlée en tas ou pâturée) et une érosion récurrente, on assiste actuellement à une forte dégradation de ceux-ci (Giller et al., 2011; Ripoche et al., 2015). Cette perte de fertilité ne peut être compensée par l'apport d'engrais chimiques, surtout dans un contexte où ils sont peu disponibles. C'est pourquoi, une autre option semble intéressante à explorer : celle de la diversification des systèmes de production avec l'intégration de légumineuses.

2.2. Le choix de développer les légumineuses

Les **légumineuses**, ou famille des *fabaceae*, sont des plantes dicotylédones de l'ordre des *Fabales*. La famille regroupe plus de 19 000 espèces, dont la quasi-totalité (Graham and Vance, 2003) a la capacité de former une association symbiotique au niveau de leurs nodosités avec les rhizobia, bactéries aérobies du sol ayant pour caractéristique de fixer l'azote atmosphérique (Giller, 2001). Les légumineuses considérées dans ce document sont celles ayant cette capacité de symbiose. Elles fournissent d'importants services écologiques (Crews and Peoples, 2004). Ainsi, elles peuvent participer à l'amélioration de la fertilité des sols grâce à la fixation de l'azote (Kermah et al., 2018) et, lorsque les résidus sont enfouis ou compostés, ils participent à la fourniture d'azote (N) aux cultures suivantes grâce à une haute concentration en azote et un ratio carbone sur azote (C/N) bas (Franke et al., 2018). Certaines légumineuses peuvent également participer à la réduction de la pression des ravageurs et des maladies lorsqu'elles sont cultivées en association ou en rotation avec des céréales (Gaba et al., 2015), n'étant pas hôtes des mêmes bio-agresseurs que les céréales. Ces services se traduisent par une amélioration de la santé des sols et une augmentation de la productivité des cultures (Franke et al., 2018). En contribuant à augmenter la production de résidus de culture ou en étant elles même cultivées pour le fourrage, elles peuvent aussi permettre d'améliorer l'alimentation du bétail, et par ricochet d'accroître la production de fumier, qui pourra participer à la fertilisation organique des parcelles.

Les légumineuses présentent aussi l'intérêt, pour les plus cultivées d'entre elles, de permettre une production hautement valorisable. Les légumineuses à graines sont une bonne source de protéines et d'acides aminés essentiels, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des humains (Kerr et al., 2007; De Jager et al., 2019). Elles peuvent également améliorer la rentabilité à court terme du système car elles ont souvent un prix de vente élevé (Muoni et al., 2019). De plus, les légumineuses fourragères sont intéressantes pour la haute teneur en protéines des fourrages qui en sont issus (Franke et al., 2018).

Ainsi, la diversification des systèmes de culture par l'intégration de davantage de légumineuses pourrait permettre une gestion plus durable de la fertilité des sols ainsi qu'une amélioration du régime alimentaire et du revenu agricole : elle a toute sa place pour accompagner la transition agroécologique.

Dans cette thèse, nous appliquons le travail de conception distribuée de **systèmes de culture** innovants à des systèmes intégrant des **légumineuses**, en vue d'améliorer la productivité et la fertilité des sols. Comme indiqué plus haut, pour ne pas fragiliser des exploitations agricoles dont l'économie repose sur le coton, nous avons décidé que cette introduction des légumineuses dans les systèmes de culture ne devrait pas remettre en cause la place dominante du coton.

3. Démarche et problématique

3.1. Proposition d'une démarche de conception distribuée

Que ce soit pour concevoir ou pour accompagner la conception par les producteurs, les agronomes se sont dotés de nombreuses méthodes de conception en atelier participatif, conception assistée par modèle, conception pas-à-pas, en expérimentation-système ou chez des agriculteurs, etc. – qui sont alimentées par la production de connaissances ad hoc (diagnostic agronomique, modèles conceptuels ou numériques, jeux sérieux, typologies d'exploitations, traques aux innovations, ...). Pour répondre à notre objectif de conception distribuée de systèmes de culture innovants, nous avons choisi d'articuler plusieurs de ces méthodes de la manière suivante :

- En nous appuyant sur le travail de diagnostic régional élaboré par les collègues qui nous ont précédés dans la zone cotonnière du Burkina Faso, nous avons commencé la phase de terrain par une **traque** aux systèmes de culture innovants intégrant les légumineuses dans la province du Tuy, avec pour objectif de repérer et de décrire des systèmes de culture originaux, adaptés aux contraintes et objectifs des producteurs de la zone. Ces systèmes de culture conçus par des producteurs innovants constitueront un premier pool de connaissances, qui alimenteront la conception de prototypes de systèmes recherchés.
- La suite de notre travail s'est concentrée sur deux villages de la province du Tuy, où les mêmes activités ont été mises en place de manière parallèle, en vue d'introduire des légumineuses auprès d'une grande diversité de producteurs. Nous avons ainsi travaillé avec plus de 70 paysans en tout. Notre objectif était, qu'au bout des trois années de terrain de thèse, une part importante de ces paysans ait identifié les services rendus par l'insertion des légumineuses dans leurs systèmes de culture, choisi un mode d'insertion leur convenant et enclenché l'adaptation de leurs systèmes pour favoriser cette insertion. Il était clair pour nous, dès le début du travail, que le changement de système ne devait pas impacter les surfaces en coton, ni réduire le rendement de cette culture, eu égard à l'importance du coton dans le revenu de nombreuses familles, mais aussi afin de ne pas se heurter de front au verrouillage du système sociotechnique lié à la culture du coton dans cette région.
- Dans les deux villages, le travail a débuté par des « **ateliers participatifs** » visant à la fois (i) une sensibilisation concernant la possibilité et l'intérêt de cultiver des légumineuses; et (ii) un début de co-

conception, entre agronomes et producteurs, de systèmes nouveaux, inspirés par ceux de la traque. Cependant, aucune proposition nouvelle n'ayant clairement émergé des producteurs durant ces ateliers, le débat avec eux s'est centré sur leur avis concernant les systèmes issus de la traque, et sur les critères de satisfaction qu'ils mettent en avant pour expliquer pourquoi certains systèmes pourraient les intéresser, et d'autres non.

- En partant des résultats de la traque aux innovations et des ateliers participatifs, complétés par des connaissances agronomiques développées par la recherche dans la zone, nous (l'équipe de recherche³) avons conçu et mis en place dans chaque village un « **essai de prototypage participatif** », désigné dans ce manuscrit sous l'acronyme de PPT pour « Participatory Prototyping Trials ». La construction des PPT a été inspirée des matrices mises en place dans l'approche DATE (Husson et al., 2016) : comme pour les matrices, les PPT présentent une variété de Systèmes de Culture Innovants (ICS) prenant compte les effets précédents et sont le support de visites commentées des producteurs . Les 2 PPT mises en place dans deux villages de la province du Tuy (Figure 1) suivent le même protocole expérimental. Certains ICS étant inspirés des résultats de la traque aux innovations, et d'autres étant des propositions *de novo* de l'équipe de recherche, avec prise en compte des commentaires des producteurs formulés durant les ateliers participatifs. Chaque PPT a été mis en place pendant deux saisons de culture (2017 et 2018), sur la même parcelle, ce qui a permis d'observer la deuxième année les « effets précédents » des légumineuses. Dès la première année (PPT1), des **visites commentées** sur les essais ont été organisées avec les paysans du village, avec pour objectif l'évaluation participative des prototypes portant principalement sur la faisabilité technique et les résultats en termes de production. Un **atelier de co-évaluation** a également été organisé après les récoltes, afin de discuter de chaque ICS et des rendements obtenus. Un des objectifs des visites commentées et de l'atelier de co-évaluation était d'initier un processus de conception pas-à-pas avec les producteurs : leur évaluation a été prise en compte pour améliorer les prototypes de la deuxième année d'essais (PPT2). Des visites commentées ont également été organisées sur PPT2.

- Dès les premières visites des PPT de la première année, certains paysans ont marqué leur intérêt pour l'un des systèmes. Nous les avons incités à essayer, dans leurs parcelles, le ou les systèmes qui leur plaisaient le plus. La majorité des paysans ayant participé aux activités sur les PPT1 ont choisi un système de culture innovant à tester sur leur exploitation, et l'ont plus ou moins modifié pour l'adapter selon leurs préférences et contraintes, dans ce que nous avons appelé des **Farmers' Adaptation Trials (FAT)**. Ces FAT ont été suivis deux ans (FAT1 en 2018 et FAT 2 en 2019), permettant aux producteurs d'améliorer pas-à-

³ L'équipe de recherche était principalement constituée des encadrants de cette thèse, du technicien Hamadou Zonou, et de moi-même. Selon la posture adoptée, cette équipe est également désignée dans ce document par « les agronomes » ou par « nous ». Lorsqu'il s'agit d'interactions directes avec les producteurs ou avec le terrain, l'équipe considérée est plus restreinte et constituée du technicien, éventuellement d'un stagiaire, et de moi-même.

pas les systèmes d'une année sur l'autre, ou de changer de système pour ceux qui le désiraient. Les FAT1 ont donc été mis en place en parallèle des PPT2, et les visites commentées sur les PPT2 ont été une opportunité pour les producteurs d'échanger sur les PPT2 mais également sur leurs FAT1.

Ainsi **les producteurs ont été impliqués dans le processus de co-conception** à différents stades de l'approche et de différentes manières : les producteurs innovants ayant développé les systèmes étudiés lors de la traque ont contribué à générer du contenu agronomique utile à la conception pour les agronomes des prototypes des PPT ; les producteurs des deux villages ont tout d'abord nourri la conception par leur évaluation des prototypes, évaluation qui s'est faite à travers des activités collectives, puis en les adaptant eux-mêmes et de manière individuelle dans leurs FAT.

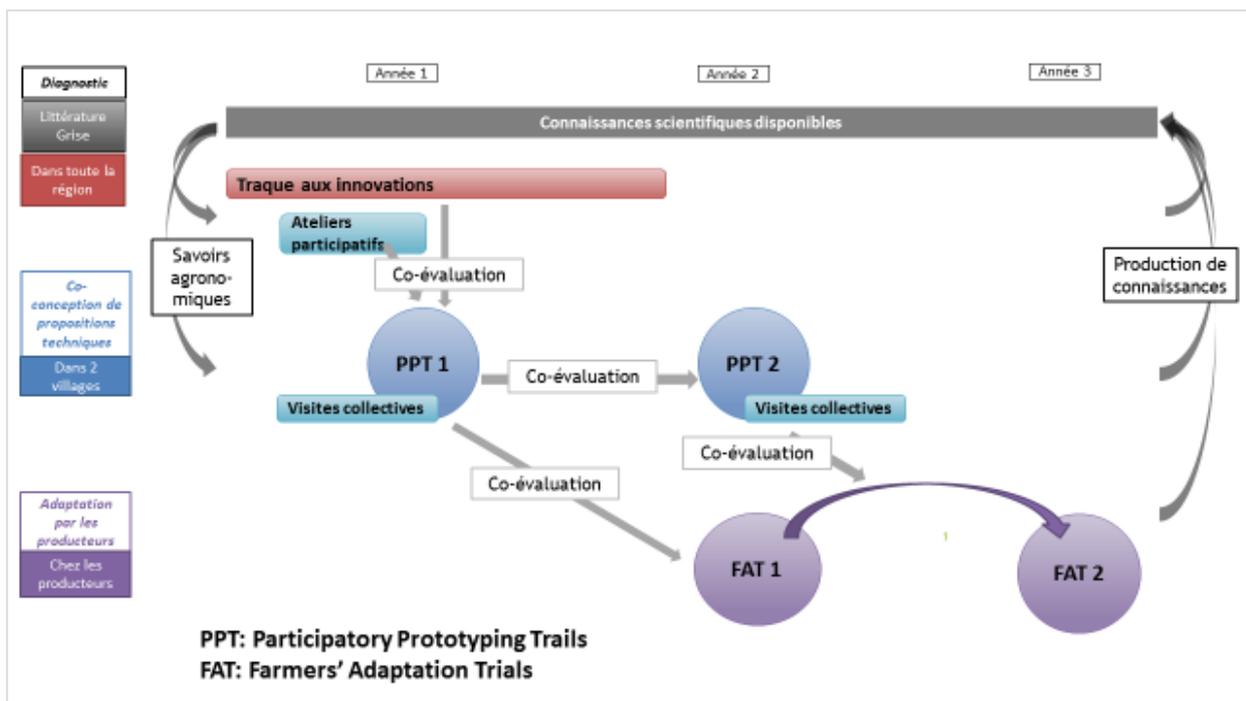


Figure 4 : Schéma synthétique de l'articulation des différents outils utilisés dans notre approche

3.2. Organisation de la thèse autour de trois chapitres

Cette thèse vise à comprendre comment s'organise le processus de conception distribuée dans un tel dispositif, et à évaluer les effets du dispositif sur l'intérêt des paysans pour les légumineuses, pour des systèmes innovants avec légumineuses, et pour la conception pas-à-pas de nouveaux systèmes adaptés à leur situation. Pour cela, nous étudions, dans un premier temps, trois différentes phases de la démarche, de manière à en analyser les dynamiques résultantes (chapitres 1, 2 et 3, partie résultats), avant de discuter de l'intérêt global de la démarche pour la conception distribuée de systèmes de culture innovants visant à introduire efficacement des légumineuses (Discussion générale).

Le chapitre 1 analyse l'articulation de la traque aux innovations avec les essais de prototypage participatifs (PPT), et l'intérêt de cette combinaison pour l'évaluation collective des ICS dans chaque village. Nous y posons les questions suivantes : existe-t-il dans la région des systèmes innovants incluant les légumineuses, adaptés au milieu et aux débouchés actuels ou futurs ? Comment les producteurs des 2 villages perçoivent-ils ces innovations, issues de producteurs originaux ? Quel est l'intérêt, pour les autres producteurs, de s'inspirer d'innovations développées par des producteurs de la zone ? Plus spécifiquement, ce chapitre a pour objectifs de (i) caractériser les systèmes de culture innovants à base de légumineuses mis en place par les producteurs innovants de la zone, et (ii) évaluer l'intérêt potentiel d'autres producteurs pour ces systèmes innovants. Ce chapitre, qui a fait l'objet d'un article publié par la revue *Agricultural Systems*, s'intitule « *Articulation de la traque aux innovations avec des essais de prototypage participatifs pour l'évaluation collective des Systèmes de Culture Innovants (ICS)* ». Nous reproduisons dans ce mémoire le texte de l'article publié.

Le chapitre 2 porte sur l'articulation des PPT avec les essais adaptatifs paysans FAT. On y cherche à comprendre si la démarche adoptée est pertinente pour (i) susciter l'intérêt des producteurs à intégrer davantage de légumineuses dans leurs systèmes de culture et (ii) les aider à choisir un système de culture innovant parmi une palette diversifiée. Est-il intéressant de présenter une large gamme d'options techniques adaptable par les producteurs indépendamment de leur type d'exploitation plutôt que de cibler des options techniques par types ? L'objectif de ce chapitre est d'analyser les relations entre structure des exploitations, critères de choix des producteurs et nature du système choisi comme point de départ d'une amélioration ciblée dans l'exploitation. Ce chapitre s'intitule « *Quel système innovant pour quel producteur ? Rôle des activités collectives sur les PPT pour alimenter le choix de chaque producteur* ».

Le chapitre 3 se concentre sur l'adaptation par les producteurs des associations sorgho-légumineuses dans les FAT, en lien avec les visites sur les PPT. Quel est le degré d'adaptation des systèmes par rapport aux prototypes proposés dans les PPT ? Quelles sont, selon les producteurs, les performances principales des systèmes innovants qui justifient leur adoption ? Les objectifs de ce chapitre sont de (i) montrer que l'articulation entre PPT et expérimentation par les producteurs a permis d'initier un processus de conception pas-à-pas, et (ii) mettre en évidence les spécificités de cette conception pas-à-pas, en particulier en analysant le rôle joué par les PPT et les dynamiques collectives dans le processus d'adaptation individuelle. Ce chapitre s'intitule « *Un processus de conception pas-à-pas nourri par l'expérimentation paysanne et les échanges entre producteurs* ».

Enfin, dans la discussion générale, nous mettons en perspective l'ensemble de la démarche en nous demandant en quoi la démarche proposée est originale et comment elle a permis d'initier un processus de conception innovante et d'accompagnement des producteurs dans la conception pas-à-pas de leur système de culture. Nous y discutons la manière dont nous avons produit des connaissances par et pour la conception avant de terminer sur les implications pratiques de la démarche dans une optique de développement.

PARTIE 2 : Résultats

CHAPITRE 1. Articulation de la traque aux innovations avec des essais de prototypage participatifs pour l'évaluation collective des Systèmes de Culture Innovants (ICS)

Ce chapitre reprend le texte d'un article de la revue *Agricultural Systems* : (Périnelle et al., 2021).

Pour des illustrations sur les ICS étudiés lors de la traque aux innovation, se référer à l'ANNEXE 1.

Combining on-farm innovation tracking and participatory prototyping trials to develop legume-based cropping systems in West Africa⁴

Authors : Anne Périnelle^{a,b}, Jean-Marc Meynard^c, Eric Scopel^{a,b}

^a CIRAD, UPR AIDA, F-34398 Montpellier, France

^b AIDA, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France

^c Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR Sad-Apt, 78850 Thiverval-Grignon, France

Key words : agroecological innovations, participatory evaluation, evaluation criteria, innovative farmers, field-days, intercropping systems

Résumé

Dans la zone cotonnière du Burkina Faso, la dégradation des sols et l'accès limité aux engrais nécessite des approches alternatives pour maintenir la productivité, tels que l'introduction de plus de légumineuses dans les agroécosystèmes. Les légumineuses ont presque disparu des systèmes de culture locaux sous la pression du modèle de production du coton en monoculture. Pour développer de nouveaux systèmes de culture à base de légumineuses en utilisant une approche ascendante, cette étude s'est appuyée sur les innovations agroécologiques des agriculteurs locaux. Dans une première étape, appelée "traque aux innovations" dans les exploitations agricoles, cinq systèmes de culture innovants à base de légumineuses ont été identifiés et caractérisés dans des exploitations situées dans la zone d'étude, grâce à des entretiens avec des "agriculteurs innovants" ayant conçu et mis en œuvre ces systèmes de culture : (i) Association Sorgho - légumineuse (niébé, soja ou arachide) en rotation avec du maïs ou du coton ; (ii) Soja comme culture de rente

⁴ Funding : This work was conducted with financial support from the SANTE (Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle et Transition agroécologique) project, part of the Inra-Cirad GloFoodS Meta-program.

Acknowledgements: We would like to thank Zonou Hamadou for his work as technician and all the participating farmers. We thank Dr. Tara Wood and Daphne Goodfellow for their correction of the English language in this article. We also thank our colleagues of the ASAP Platform for their support during the field phase, and those of AïDA research unit and IDEAS collective for their methodological advices.

en rotation avec du maïs ou du coton ; (iii) Niébé rouge en succession intra-annuelle avec une culture pour la production de biomasse ; (iv) Mucuna en rotation avec du maïs ; et (v) Pois d'Angole en rotation avec du maïs. Dans un deuxième temps, ces cinq "systèmes de culture innovants" (ICS) ont été mis en œuvre dans des "essais de prototypage participatif" (PPT) dans deux communautés situées dans la zone d'étude. Les ICS y ont été évalués au cours de visites collectives par des producteurs locaux (" producteurs des visites") qui n'avaient pas d'expérience préalable des ICS. En comparant les évaluations faites par les agriculteurs innovants avec celles des agriculteurs des visites, il a été démontré que (i) les ICS mis en œuvre localement et adaptés aux moteurs de changement locaux présentent un grand intérêt pour les autres agriculteurs, et (ii) l'approche participative en deux étapes de l'étude est une manière originale et pertinente de co-concevoir et d'introduire des innovations.

Abstract

In the cotton-production zone of Burkina Faso, poor soil fertility and limited access to appropriate fertilizers call for alternative approaches to sustain productivity, such as the introduction of more legumes into the agroecosystem. Legumes have nearly disappeared from local cropping systems under the pressure of the cotton mono-cropping model. To develop new legume-based cropping systems using a bottom-up approach, this study was based on local farmers' agroecological innovations. In a first step, called on-farm innovation tracking, five innovative legume-based cropping systems were identified and characterized on farms located in the study area through interviews with "innovative farmers" who had designed and implemented these cropping systems: (i) Sorghum and legume (cowpea, soybean or peanut) intercropping in rotation with maize or cotton; (ii) Soybean as a cash crop in rotation with maize or cotton; (iii) Red cowpea intra-annual succession with a biomass crop; (iv) Mucuna in rotation with maize; and (v) Pigeon pea in rotation with maize. In a second step, these five "innovative cropping systems" (ICSs) were implemented in "participatory prototyping trials" (PPTs) in two communities located in the study area where they were evaluated during field days by local farmers ("field-day farmers") having no previous experience with ICSs. By comparing evaluations made by innovative farmers with those of field-day farmers, it was shown that (i) locally implemented ICSs adapted to local drivers of change are of great interest to other farmers, and (ii) the study's two-step participatory approach is an original and relevant way to co-design and introduce innovations.

1.1.Introduction

Soil depletion and reduced productivity are increasing issues faced by farmers in Sub-Saharan Africa (Giller et al., 2011; Ripoche et al., 2015) where chemical fertilizers and biomass return to the soil are insufficient to compensate for nutrient exports (Grillot et al., 2018; Van Vugt et al., 2018). In specialized

production areas like the cotton (*Gossypium hirsutum*) production zone of West Africa (Giller, 2001; Ripoche et al., 2015), where land pressure is high (Jahel et al., 2015) and crop diversity is low (mainly maize-cotton rotation, Coulibaly et al., 2012), soil fertility maintenance is a huge challenge.

Poor soil fertility and limited access to fertilizers call for alternative approaches to farming, particularly, incorporating more legumes into the agroecosystem. Legumes provide important ecological services (Crews and Peoples, 2004), such as improved soil fertility through nitrogen fixation (Kermah et al., 2018; Giller, 2001), and reduced pest and disease pressure when intercropped or rotated with a non-legume (Gaba et al., 2015). These services result in improved soil health and increased crop productivity (Franke et al., 2018). Furthermore, grain legumes are a good source of protein and essential amino acids, thereby contributing to food and nutrition security (de Jager et al., 2019; Kerr et al., 2007). Legumes can also improve the short-term profitability of the cropping system as the grain often has a high selling price (Muoni et al., 2019).

Many projects have tried to incorporate legumes into cropping systems by improving local species management (Ronner et al., 2017; Falconnier et al., 2017), introducing new species, or transferring technologies such as rhizobium inoculation (Wolde-meskel et al., 2018; Rurangwa et al., 2018). However, technological change is difficult for poor farmers who are more risk-averse (Nederlof and Dangbégnon, 2007), especially those living where governments and value-chain stakeholders fail to create an environment favorable to change (Davies et al., 2017). In Burkina Faso's cotton-production zone, the cotton value chain places economic pressure on farmers to monocrop (Bazie et al., 2020), thereby limiting legume integration and innovative cropping systems (Audouin et al., 2018). In such sociotechnical systems (Geels and Schot, 2007; Meynard et al., 2017), it is difficult for scientists to scale-out otherwise appropriate innovations, especially agroecological innovations.

Previous studies have attempted to address these challenges by designing innovative solutions with farmers (Vall et al., 2016). Instead of being considered adopters of technology, farmers in this participatory approach are joint drivers of agricultural innovation within the context of their environment (Salembier et al., 2018; Schut et al., 2018). They actively participate in the innovation system (Dolinska and d'Aquino, 2016) by sharing their knowledge with local stakeholders, researchers, and extension agents, to co-design innovative practices or cropping systems (Meynard et al., 2012, Verret et al., 2020). Farmers who help develop these innovative solutions may be the catalysts of change necessary to drive wide-spread adoption within the community, as was shown by Pant and Hambly Odame, 2009 using the theory of positive deviance.

One promising participatory approach has been the use of innovation platforms (Dabire et al., 2017; Davies et al., 2017). Innovation platforms aim to stimulate the problem-solving capacity of farmers and other stakeholders. During platform meetings, actors identify and discuss ways to alleviate constraints that prevent innovation adoption. Past studies show this approach is more successful than simply transferring innovations designed by public or private research and development (R&D) to farming communities (Davies et al., 2017).

However, innovation platforms can be costly and time-consuming and are rarely sustainable in the absence of a resource-rich local development project (Dabire et al., 2017). When development projects end, the constraints they helped minimize often creep back into the system, compromising the integrity of innovative systems.

To avoid this issue, and ensure innovations are sustained, this study sought out farmer innovations already in place (Salembier et al., 2016; Verret et al., 2020). It was hypothesized that if local farmers' innovations have enabled them to address their constraints and capitalize on opportunities (Waters-Bayer and Bayer, 2009), then these innovations can likely overcome other local farmers' constraints.

The study objectives were to (i) characterize innovative agroecological legume-based cropping systems designed by local farmers and (ii) assess the potential interest other area farmers had in these innovative systems.

To do this, an original two-step approach was implemented. It started by tracking on-farm innovations to identify and describe innovative cropping systems (ICSs) being implemented by local farmers (Salembier et al., 2016; Blanchard et al., 2017). The aim was to understand the link between innovative farmers' production practices, and the rationale behind them, to determine the criteria farmers used to evaluate their production. Then, participatory prototyping trials (PPTs) containing ICSs were set up in two communities, and local farmers were invited to view and discuss the benefits and constraints of the different systems in a collective participatory evaluation process. The researchers then worked to determine whether, and to what extent, farmers would be interested in ICSs. These two-complementary steps have been combined into a new approach to enhance a co-design process of innovative legume-based cropping systems.

1.2. Materials and Methods

1.2.1. Context: Studying innovations in the cotton-production area of Burkina Faso

The study area of Tuy Province (Figure 1) is characterized by a Sudano-Sahelian climate, with a unimodal rainy season lasting from June to October. Average rainfall ranges between 850 and 950 mm per year, with strong inter-annual variability in the amount, duration, and distribution. With ongoing climate change, the rainy season is often starting later, with rains being less frequent and more intense (Ibrahim et al., 2014), thereby, exacerbating erosion and soil depletion. Rains are also becoming erratic and unreliable (Ibrahim et al., 2014), making it difficult for farmers to decide when to sow (Vall et al., 2008).

The vast majority of farmers in Tuy Province are smallholders. Farming systems are primarily producing cotton (Coulibaly et al., 2012). In 2018, out of 299 farms randomly selected in Tuy Province, cotton was grown on 40% of the cropped area, maize (*Zea mays*) on 30%, sorghum (*Sorghum bicolor*) on 14%, and legumes (peanut (*Arachis hypogaea*), soybean (*Glycine max*), cowpea (*Vigna unguiculata*), Bambara bean (*Vigna subterranean*)) made up 8% of the cropped area (D. Gautier, CIRAD, unpublished data). Peanut and

cowpea are the main legumes cropped, but in very limited areas and quantities compared with other regions of Burkina Faso (Dabat et al., 2012).

The cotton-production zone relies on annual rotations of two to three crops, animal traction, fertilizers, and herbicides (Bazie et al., 2020). The main access to fertilizer is through the *Société Burkinabè des Fibres Textiles* (SOFITEX). This company contracts farmers to produce cotton, then purchases cotton directly, and in exchange, provides seed and fertilizer in the form of campaign credit and technical support to improve production (Guenot and Huchet-Bourdon, 2014). The credit is reimbursed with cotton production.

Unlike pesticides, chemical fertilizers are not easily obtained apart from SOFITEX with priority on cotton production (Porgo et al., 2018). Consequently, farmers who do not crop cotton, find it difficult to obtain mineral fertilizers. Furthermore, to obtain credit, farmers need to be part of a shared liability group (Gray et al., 2018), and such groups are reluctant to include poor and risky farmers.

Maize cropping has also increased in the region thanks to its good response to fertilizers, increased home consumption, and a market for its grain. Maize follows the same monocrop intensification pattern as cotton (Guenot and Huchet-Bourdon, 2014), further marginalizing legume crops.

In the communities surveyed, livestock farming is mostly practiced by sedentary Fulani herders. Grazing is the rule on non-irrigated land, which makes up the majority of land in the region. After the cotton and cereals have been harvested, cattle and small ruminants are released and graze crop residues and/or crops left in the field throughout the dry season. The animals graze freely until the beginning of the rainy season when farmers start plowing. Farmers do not have enough animals to add manure to all of their fields despite the increasing number of cattle they own (Vall et al., 2017; Zoma-Traoré et al., 2020).

1.2.2. On-farm innovation tracking

On-farm innovation tracking was conducted using a methodology adapted from Salembier et al., 2016, which includes (i) characterization of the common practices in the study area, (ii) identification of farmers who implement innovative cropping systems (ICSs) significantly different from common practices, and (iii) characterization of ICSs and identification of the farmers' rationale (evaluation criteria) for implementing ICSs. In the current study, farmers' evaluation criteria were discussed and analyzed in greater detail than previous studies using on-farm innovation tracking (Salembier et al., 2016; Blanchard et al., 2017).

Innovation tracking in the current study was conducted in the seven communes of Tuy Province (Figure 1), which is within the cotton-production zone. In each commune, local agricultural extension agents were asked to identify farmers who grew more legumes than most area farmers. They identified 70 farmers, and the research team interviewed the farmers about their legume cropping systems. Cropping systems selected for consideration in further studies were (i) atypical, i.e., different from legume production in the area (cowpea, soybean, or peanut grown alone on small areas for household consumption (Andrieu et al., 2015; Dugué et al., 2014)) (ii) implemented or improved regularly for several years, and (iii) following

agroecological principles (for instance cropping systems with increased used of pesticide or chemical fertilizer compared to common practices were not considered).

From the 70 farmers interviewed, 22 were chosen as “innovative farmers” and underwent a further, in-depth interview with the research team about their innovative practices. The in-depth interviews focused on (i) ICS management: the farmer was asked to describe his practices from land selection to selling or consumption; (ii) the rationale behind the ICS: the farmer was asked the reasons why he chose his practices; and (iii) ICS evolution over time: the farmer was asked about the origin of his ICS and its evolution during the last years. Various innovative systems, identified from these interviews, were combined into five promising types of ICS (ICS1 to ICS5 in Table 1), which were demonstrated in participatory prototyping trials (PPTs). Innovative farmers were also asked about their overall farming system, including what other crops they produced and on what area, and how many cattle they have.

The reasons given by innovative farmers for their farming choices were used to describe the innovative farmers’ evaluation criteria (Tables 2a-2e). For the analysis, a criterion that was considered a constraint or an obstacle to adopting the ICS was classified as “weakness” and a criterion that was considered an opportunity or a motivation to adopting the ICS was classified as “strength” (Table 2 color key). To rate the importance of each criterion for each type of ICS, the number of in-depth interviews in which the criterion was mentioned was counted (summarized in Table 2 color key as “fewer than” or “more than” 50% of the interviews). A criterion considered a weakness by some and strength by others, was rated as “no consensus” (Table 2 color key). Literature on the origins and evolution of the ICSs’ was used, along with farmers’ interview responses during innovation tracking, to better understand each type of ICSs’ novelty and potential benefits.

1.2.3. Participatory workshops and Participatory prototyping trials (PPTS) in two communities

Two communities within two different communes of Tuy Province were selected for further participatory activities: Boni (in the Hounde commune, 115 km by road from the main city in the region, Bobo Dioulasso) and Founzan (in the Founzan commune, 145 km by road from Bobo Dioulasso) (Figure 1). These communities were selected primarily because literature detailing their farming systems was available, and connections with community leaders and farmers were established (Coulibaly et al., 2011). Both communities are part of the same agroecosystem in the cotton-production zone. However, Boni is located close to the cotton processing plant, so cotton is very important for farmers, while Founzan is close to a dam, so the farmers produce a wider range of products, including fish and irrigated vegetables.

In each community, a contact person was tasked with inviting between 20 and 30 farmers representing a wide range of local farming systems and demographics (low and high resource endowed farmers; cotton farmers, herders and farmers-herders; young and old; male and female) to participatory workshops (Reau et al., 2012) (Table 3). The workshops were used to present the results of on-farm

innovation tracking with farmer participants, open up a discussion on the ICSs, introduce the participatory approach of the study, and encourage farmer involvement. One participatory workshop was conducted per community in May just before the 2017 growing season. Farmer participants were then invited to attend field days at the participatory prototyping trial (PPT) in their community.

One PPT was set up in each community. The PPTs were set up to generate discussion among farmers by enabling them to see and compare the different cropping systems, including ICSs, within the trial plots. The two trial sites were selected based on ease of access by farmers attending PPT field days, and both held the same field location (belonging to a local farmer) over the two growing seasons (2017 and 2018). The layout of the PPTs was the same for both locations and organized to display a diversity of cropping systems like the matrix in Husson et al., 2016. The layout was not designed for statistical analysis of crop performance, so treatment replications were not included.

Sixteen 400 m² plots were set up in each PPT (Table 4). Plots contained either one of the five ICSs, or a sole crop (peanut, cowpea, soybean, sorghum, maize, or cotton), with some plots split into two parts (Table 4). The research team designed and managed the ICSs based on information collected during on-farm innovation tracking, comments made by farmers during participatory workshops, and appropriate agronomic practices. Fertilizers were applied to crops at rates typical for the region (150 kg/ha of NPK 14-23-14 and 50 kg/ha of urea 46% on cotton and maize). Plowing and sowing were done five days later in Founzan than in Boni because cattle grazing was controlled later in Founzan.

The first cropping season of the study (2017) is referred to as PPT1, and the second one (2018), as PPT2. In PPT1, six of the 16 plots were sole maize set up on parameter plots to verify soil homogeneity. In PPT1, farmers could easily compare the intercropped species in the ICS plots, with the same species cropped alone on adjacent plots during field days. All the plots had the same previous crop. After year one, the research team provided (for free) legume seeds for farmers to try whatever ICS they wanted on their farm. There was also an evaluation workshop in each community between the two seasons, where the research team presented yields from PPT1 to field-day farmers and held discussions on what improvements could be made for PPT2 in 2018.

Changes to PPT2 included: (i) new arrangements for intercropping systems to allow ridging by animal traction; (ii) addition of an earlier variety of pigeon pea; (iii) another ICS (sorghum – red cowpea intercrop) at the request of field-day farmers; and (iv) another check (cotton after maize which is the common rotation in the area) (Figure 5). PPT2 was organized to enable field-day farmers to see the carry-over effect of unfertilized legumes (Mucuna, pigeon pea, 2 successive cowpea), unfertilized sorghum, and fertilized cotton and maize from PPT1 on the cropping systems in PPT2, and make comparisons.

Plot n°	Treatment PPT1	Treatment PPT2	ICS or check
1	Sole mucuna	Sole maize	ICS 4
2	Sole maize	Sole mucuna	ICS 4
3	Sole pigeon pea	Sole maize	ICS 5
4	Sole maize	Sole pigeon pea	ICS 5
5	Succession red cowpea- white cowpea	Sole maize	ICS 3
6	Succession red cowpea- maize	Succession red cowpea- maize	ICS 3
7	Sole maize	Succession red cowpea- white cowpea	ICS 3
8	Sole sorghum	cotton	check
	Sole soybean		ICS 2
9	Sorghum -soybean inter-hole intercropping	Sorghum -soybean inter-hole intercropping	ICS 1
		Sorghum -soybean inter-row intercropping	ICS 1
10	Cotton	Sole sorghum	check
		Sole soybean	ICS 2
11	Sole sorghum	Cotton	check
	Sole peanut		check
12	Sorghum- peanut inter-hole intercropping	Sorghum- peanut inter-hole intercropping	ICS 1
		Sorghum- peanut inter-row intercropping	ICS 1
13	Cotton	Sole sorghum	check
		Sole peanuts	check
14	Sole maize	Sorghum- red cowpea intercropping	ICS 1
15	Sole maize	Sole cotton	check
16	Sole maize	Sole maize	check

Figure 5: List of the 16 treatments implemented in the participatory prototyping trials (PPT), ICS: Innovative cropping system (described in table 3); each box represents a 400m², some plots are divided into 2 parts (boxes divided with a dotted line)

The research team used field days as a multi-step participatory approach to obtaining farmers' evaluations of ICSs. Farmers who attended their community's participatory workshop were invited to visit and comment on the cropping systems demonstrated in PPTs. Some of these farmers had shared what they learned at the participatory workshop with friends and family, leading more farmers to attend the first field day. After the first field day, only farmers who had participated in either a participatory workshop or the first field day were included in the study. Innovative farmers interviewed during the tracking phase did not belong to either of the two communities (except for one farmer from Founzan), so they were not invited to avoid disturbing the local dynamic between farmers from the same community.

Three field days were organized in each community: two for PPT1 (one after germination and one just before the main harvest), and one for PPT2 (just before the main harvest) (Table 3). The first field days (Figure 6) (labeled Field-day Intro. in Table 3) occurred at PPT1 in August when plants were young and were used as a presentation of the trial. Each plot was described, and farmers asked questions, but did not evaluate the various cropping systems. Just before harvest, during field evaluation days (labeled Field-day Eval. in Table 3) at PPT1 and PPT2, the farmers were divided into groups of five to 10 to facilitate discussion, and to give each farmer time to speak. There were three groups per community, making a total of six groups per PPT. Women had their own group to allow them to speak freely, while men were randomly mixed into the two other groups.

Field evaluation days started with an introduction explaining the purpose of the visit. Then, each ICS was examined plot by plot, starting with ICSs growing common local crops, assuming those would be easiest

for farmers to evaluate. The activity leader asked the field-day farmers what they liked or disliked about the ICS they were looking at, and how they would improve it. Questions were purposely open-ended to avoid influencing responses, and farmers were incited to react to others' comments.

As the activity leader could not speak any local languages, the research technician translated from French to Dioula—the most widely spoken language in the area—and vice versa. He also assisted the activity leader in answering farmers' questions, giving a voice to every participant (including women and youth), reopening the discussion, or asking for clarification when needed; but always avoided giving his own opinion or evaluation. Farmer discussions were recorded with a voice recorder, and an assistant mastering Dioula was in charge of taking the minutes of farmers' exchanges—especially small spontaneous debates occurring between farmers aside.

The day after the visits, the activity recording and the minutes were discussed among the activity leader, technician, and assistant, and compiled. This material was used to describe the field-day farmers' evaluation criteria of the ICSs (Tables 2a-2e). The same method was used to analyze and rate the importance of the field-day farmers' criteria as was used for the innovative farmers' criteria (Table 2 color key): a criterion that was considered a constraint or an obstacle to adopting the ICS was classified as "weakness", and a criterion that was considered an opportunity or a motivation to adopt the ICS was classified as "strength". To rate the importance of each criterion, the number of groups that mentioned the criterion during discussions was counted (summarized in Table 2 color key as "fewer than" or "more than" 50% of the groups). A criterion considered a weakness by some farmers and strength by others was rated as "no consensus" (Table 2 color key). Evaluations between innovative and field-day farmers for each type of ICS were then compared. Contextual information given by farmers (e.g. climate, prices, value chain) was crosschecked with available literature (reports, diagnosis, scientific paper, etc.).



Figure 6 : First field day of the participatory prototyping trials in Boni, July 2017 (Photo: G. Bruelle)

1.2.4. Surveys to characterize field day farmers

During the second year of the study (2018), 64 of the 74 farmers who had participated in at least one activity in 2017 were surveyed. Data from this survey were used to analyze the diversity among field-day farmers in regard to their farming systems and endowment. Two important characteristics of the farming systems (Vall et al., 2017) were used to compare field-day farmers, innovative farmers, and 299 randomly selected farmers of the Tuy Province, who were surveyed the same year for another project (“RELAX - Agropolis Fondation,” n.d., unpublished data): (i) cropped area in 2017, and (ii) number of cattle owned by the household.

1.3.Results

1.3.1. ICSs characterized through the on-farm innovation tracking and innovative farmers’ evaluations

During on-farm innovation tracking (brief interviews with 70 farmers identified as producing legumes, and in-depth interviews with 22 of those farmers identified as innovative), the evolution of local farm innovations was discussed, and five types of innovative cropping systems with legumes were identified and characterized (Table 1): (i) ICS1 Sorghum and legume (red or white cowpea, soybean, or peanut) intercropping in rotation with maize or cotton, for seven farmers; (ii) ICS2 sole soybean as cash crop in rotation with cotton or maize, for five farmers; (iii) ICS3 red cowpea in intra-annual succession with biomass crop, for five farmers; (iv) ICS4 Mucuna in rotation with maize, by four herders; and (v) ICS5 pigeon pea in rotation with maize, by one farmer. ICS belonging to the same type rely on the same agronomic rationale, even if they do not combine exactly the same management practices.

Table 1: Characterization of the 5 types of Innovative Cropping Systems (ICS) identified during on-farm innovation tracking.

ICS	Number of interviewed farmers	Crops (layout and rotation)	Field size	Crop management				Production and use	Source of seeds	
				Sowing	Fertilization	Weeding	Harvesting			
1	Sorghum legume Intercropping in rotation with maize or cotton	7	Sorghum intercropped with cowpea, peanut, or soybean dibbled on the same line	Small areas (<1 ha)	Sorghum and legume sown separately	None	Sorghum ridging with animal traction	Legume harvested first, allowing sorghum harvest by cutting the whole plant	Sorghum and legume (cowpea, sometimes peanut) for household consumption	Kept from the previous year or purchased on the market
2	Soybean in rotation with maize or cotton	5	Sole soybean in rotation with maize or cotton, all on large areas	1 to 4 ha	Among the first crops sown in the farm	NPK sometimes on soybean; NPK and urea always on maize	By selective herbicide application and/or animal traction.	Harvesting must be done quickly to avoid losses by pods opening; performed with external labor	For sale (emerging market for soybeans) as cash crops	Certified seeds bought
3	Red cowpea- in intra-annual succession with biomass crop	5	Sole red cowpea followed by a crop whose biomass can be used (cowpea, maize, hibiscus, etc.)	Small areas (<1 ha)	Early seeding of the first crop (end of May)	None	Mostly by hand except between the 2 crops (plowing)	First crop at maturity, during the rainy season. Second crop at the end of the rains	Cowpea and hibiscus leaves used for soup, and maize stalks for fodder	Kept from the previous year, or purchased on the market
4	Mucuna in rotation with maize	4 herders	Sole Mucuna alone in rotation with Maize	Small areas (<1 ha)	After the other crops have been sown	No chemical fertilizer (only manure)	Only at the beginning for Mucuna; by animal traction for maize	Fodder harvested when the weather is dry, but before seeds are ripe	For fodder production, stored as bales	Mucuna kept from the previous year; maize bought
5	Pigeon pea in rotation with maize	1	Pigeon pea alone in rotation with maize	Very small areas (<0.25ha)	After the other crops have been sown	None on pigeon pea; NPK on maize	Only at the beginning for pigeon pea; by animal traction for maize	Harvesting of the pigeon pea seeds during the dry season (needs to be protected from grazing livestock)	For the production of peas (seeds and household consumption)	Pigeon pea kept from the previous year; maize bought

During in-depth interviews with the 22 innovative farmers, the researchers identified criteria the farmers used when developing and evaluating their innovative systems (Tables 2a-2e, Criteria column). The evaluation criteria include: (i) Production/Yield - evaluation of crop performance and yield; (ii) Soil fertility – evaluation of the legumes’ effect on soil productivity and Striga (*Striga hemonthica*); (iii) Flexibility/Risk management – evaluation of the ICS’s adaptability and resilience to unexpected circumstances without reducing productivity; (iv) Post-production strategy – evaluation of strengths and weaknesses associated with the use of the harvested products; and (v) Labor management – evaluation of workload and labor.

Table 2a,b,c,d,e: Summary tables of the ICS evaluations by innovative farmers made during in-depth interviews (column 1 “Innovative tracking”) and by field days farmers during field day 2 on PPT1 (column 2 “ PPT1 evaluation”) and field day 3 on PPT2 (column 3 “PPT2 evaluation”). Criteria are classified in 5 categories (organized in rows, from row 1 “production/yield” to row 5 “labor management”).

Color Key for tables 2a, b, c, d, e.

	weakness mentioned in more than 50% of the groups (field-day farmers) or interviews (innovative farmers)
	weakness mentioned in fewer than 50 % of the groups (field-day farmers) or interviews (innovative farmers)
	no consensus among the groups (field-day farmers) or interviews (innovative farmers)
	strength mentioned in fewer than 50 % of the groups (field-day farmers) or interviews (innovative farmers)
	strength mentioned in more than 50% of the groups (field-day farmers) or interviews (innovative farmers)

Table 2a: ICS 1 Sorghum legume intercropping in rotation with cotton or maize

Criteria	Farmer’s evaluation and quotes		
	1. Innovative Farmers	2. Field-day farmers on PPT 1	3. Field-day farmers on PPT 2
1. Production/ yield	Land equivalent Ration (LER)>1 “I harvest more than with mono crops”	Risks of LER<1 “You need to reduce sorghum density or it will have a negative effect on both crops, you’d better do interlines”	LER>1 “You get the same amount of sorghum plus peanuts and the residues can be used for fodder” “With interlines there is less competition, so each crop produces more”
2. Soil fertility	Beneficial effect of legume on sorghum “Sorghum produces more when intercropped”	Beneficial effect of legume on sorghum “intercropped sorghum looks stronger than sorghum grown alone”	Beneficial effect of legume on sorghum “Cowpea fertilizes the soil, even better if you bury the biomass while ridging the sorghum” “Soybean helps fighting against striga”
3. Flexibility/ Risk management	Better distribution of the risks (2 crops) “There is always at least one crop to harvest”	Limited flexibility in terms of soil type: need to be grown on relatively poor soil to avoid the risk of competition. “It cannot work on a good soil because both crops would develop well and there would be competition for light”	Limited flexibility in terms of soil type “It doesn’t work on a too poor soil either: sorghum won’t grow fast enough”
			-Small sowing window “It is important to sow the sorghum at the right time after cowpea”
4. Post production strategy	Improving household food security “The cowpea being harvested early, it helps to finish the hunger season”	Improving household food security “Farmers who only have a small farm intercrop to get different products”	Improving household food security “I can grow more different crops”

	<i>or to feed the cotton harvesting labor”</i>		
5. Labor management	<p>Labor intensive <i>“As the soybean needs to be harvested quickly, it is difficult to grow it on large area”</i> <i>“Sowing and weeding may take more time than in sole crops, but it’s easier than in the traditional sorghum-cowpea intercrop”</i></p>	<p>Labor intensive, especially for weeding: <i>“After sowing, you can’t use animal traction in the field”</i> <i>“You can’t use selective herbicides”</i></p>	<p>Labor intensive, especially for weeding: <i>“Manual weeding is more difficult in intercropped cropping systems, because you can destroy the weaker crop”</i></p>

Table 2b: ICS 2 Soybean in rotation with maize or cotton as cash crops

Criteria	Farmer’s evaluation and quotes		
	1. Innovative Farmers	2. Field-day farmers on PPT 1	3. Field-day farmers on PPT 2
1. Production/ yield	<p>Intensive production <i>“A company came and said that we should produce, they would buy the whole harvest”</i></p>	<p>Intensive production <i>“Soybean is better alone than intercropped, you get a bigger yield”</i></p>	
2. Soil fertility	<p>Striga management <i>“Sorghum will do well after soybean, because it’s good against Striga”</i></p>	<p>Good previous crop for cereal <i>“Soybean is a better previous crop than cotton”</i></p>	<p>Good previous crop for cereal and cotton <i>“Better previous crop for cotton and maize than maize”</i> <i>“it helps fight striga”</i></p>
3. Flexibility/ Risk management	<p>High risk of losing grain at harvest time <i>“The harvest has to be done quickly, or the pods open”</i></p>	<p>High risk of losing grain at harvest time <i>“You need to harvest quickly or you will lose”</i></p>	<p>High risk of losing grain at harvest time <i>“The problem is the harvest cannot wait”</i></p>
4. Post production strategy	<p>Market opportunity <i>« I grow soybean to be ready when the market opens »</i></p>	<p>Unsure market opportunity <i>“The market is not reliable”</i></p>	<p>For household food security <i>“My wife makes soumbala or soya meat for the family and to sell”</i></p>
5. Labor management	<p>Need labor for harvest <i>“I need to hire labor for the harvest as it has to be done quickly”</i></p>	<p>Allow the use of selective herbicides <i>« It is better than in association because you can’t use selective herbicides on sorghum »</i></p>	<p>Allow the use of selective herbicides <i>“ You can use selective herbicide for weeding”</i></p>

Table 2c: ICS 3 Red cowpea- in intra-annual succession with biomass crop

Criteria	Farmer’s evaluation and quotes		
	1. Innovative Farmers	2. Field-day farmers on PPT 1	3. Field-day farmers on PPT 2
1. Production/ yield	<p>Two harvests per season <i>“You can sow the second crop even more densely than the first one”</i> <i>“You’ll harvest more from the second crop than from the first one”</i></p>	<p>Two harvests per season <i>“If you can sow early enough, you can double the yield”</i></p>	<p>Two harvests per season <i>“You may even get the grain for maize as second crop”</i></p>
2. Soil fertility	<p>Soil improvement by the first crop <i>“The second crop looks better than the first one”</i> <i>“When you plow between the 2 crops, you bury the cowpea residues, it’s like a fertilizer”</i></p>	<p>Fertilizer still needed for some fodder crops <i>“It’s good but we may need to fertilize the maize if it’s the second crop”</i></p>	<p>Soil improvement by the first crop <i>“And plowing allows you to bury cowpea residues”</i> <i>“You need to plow between the two crops to avoid weeds”</i></p>
3. Flexibility/ Risk management	<p>Low risk of losing the first harvest due to the rain <i>“Unlike white cowpea, red cowpea can be harvested in the rainy season”</i></p>	<p>Location constraint due to free grazing <i>“To be able to sow early you need a field where the cattle can’t get in”</i></p>	<p>Limited flexibility for sowing <i>“It won’t work if you can’t sow early, and you need rain early”</i></p>

	Multipurpose second crop "If the rain stops early, you harvest the leaves"	Multipurpose second crop "It can work well if you sow early enough" "sesame is more resistant to water stress but with cowpea, you get the leaves"	Multipurpose second crop "You may even get two grain harvests if the rain lasts"
4. Post production strategy	Household food security (red cowpea) "Red cowpea is for the family, there is no real market for it, but it helps in the lean period"	Household food security (red cowpea) "As red cowpea is harvested early, it can be used to feed the laborers who harvest the cotton"	
	Good fodder value for the second crop "I cut the maize green and give it to the cattle, they like it"	Good fodder value for the second crop "Green fodder is better than brown"	Good fodder value for the second crop "You may get the grains, perhaps maize cobs to grill"
5. Labor management	Work management "Sowing and harvesting do not happen at the same time as for cotton and maize so here is no competition for work" "Less pests on the second crop as it rains less" "I don't grow the second crop if I am short of laborers: Two crops need more work than one"	Work intensive "It's interesting if you have a small farm but you have to be strong"	Work intensive "I can't do it because I don't have enough time to plow between the two crops"

Table 2d: ICS 4 Mucuna in rotation with maize, by herders

Criteria	Farmer's evaluation and quotes		
	1. Innovative Farmers	2. Field-day farmers on PPT 1	3. Field-day farmers on PPT 2
1. Production/ yield	High yield "I get enough fodder from very small areas"	High yield "It has lot of leaves" "it grows fast"	High yield "On a better soil, you can get more than what you've got here"
2. Soil fertility	Positive effect on the following crop "Mucuna is a good previous crop "	Good previous effect "Mucuna covers the soil well" "it will feed the soil"	Good previous effect "It's a better previous crop for maize than soybean, peanut, cotton and maize"
3. Flexibility/ Risk management	Easy fodder production "You can sow it anywhere" "you don't always need to weed after planting" "I grow it on my poorest soil"	Easy fodder production "It's a crop that can grow even on a poor soil"	Easy fodder production "It has grown very well considering the soil is not fertile"
	Risks of losing the seeds "I produce my own seeds on 1/5 of the Mucuna area" "you can't find the seeds on the market"	Risks of losing the seeds "Some of us tried it but we stopped because we couldn't find any seeds"	
4. Post production strategy	Good quality fodder "It is very rich for cattle, they like it" "I give it to my cows to get milk"	Good quality fodder "It's a really good fodder crop"	Grains valuable for fowls feed "It's interesting if it's possible to use the grain to feed fowl, how do you make that kind of feed?"
		Not fit for human consumption "It's a pity that the grains are not eatable" "What else can you do with the grains?"	
5. Labor management	Difficult drying and storage management	Difficult drying and storage management	Difficult drying and storage management

	<p><i>"The problem is drying the fodder properly"</i></p> <p><i>"It's easy. The hardest part is the drying and storage but I've got the equipment I need"</i></p>	<p><i>"It is a lot of work to harvest, make bales and transport them back to the house"</i></p>	<p><i>"How do you dry it if the rain lasts like it did this year?"</i></p>
--	---	---	--

Table 2e: ICS 5 Pigeon pea in rotation with maize

Criteria	Farmer's evaluation and quotes		
	1. Innovative Farmers	2. Field-day farmers on PPT 1	3. Field-day farmers on PPT 2
1. Production/ yield	<p>Low grain yields</p> <p><i>"I just get some grains for the family and to re sow"</i></p>	<p>Low grain yields</p> <p><i>"The cycle is too long, it's going to be difficult to get the grains"</i></p> <p>Multipurpose</p> <p><i>"It's good if the leaves can be given to the animals"</i></p> <p><i>"it's good because it is multipurpose: you can also eat the beans"</i></p>	<p>Good grain yields from short cycle variety</p> <p><i>"The shorter variety is really good to get grains"</i></p> <p>High fodder production on the fodder variety</p> <p><i>"It is good for fodder production, especially if it re grows after cutting"</i></p>
2. Soil fertility	<p>Good previous effect for cereals</p> <p><i>"Pigeon pea helps control weeds, and the maize does better the following year"</i></p>	<p>Good previous effect for cereals</p> <p><i>"The litter made of the leaves seems to be good for the soil"</i></p>	<p>Good previous effect for cereals</p> <p><i>"It is a better previous crop for maize than soybean, peanut, cotton and maize"</i></p>
3. Flexibility/ Risk management	<p>Can be cropped on poor soil</p> <p><i>"I can plant it anywhere"</i></p> <p>Drought resistant</p> <p><i>"It stays green even after the rain stops"</i></p>	<p>Drought resistant</p> <p><i>"It's good if it is drought resistant"</i></p>	<p>Drought resistant</p> <p><i>"So you can get 2 harvests of fodder because it regrows after cutting and stays green for a while"</i></p>
	<p>Risks of losing production due to grazing</p> <p><i>"Last year I couldn't harvest before the cow destroyed it." "I started with some seeds I brought from Cote d'Ivoire. Since then, I produce my own seeds but I couldn't get any seeds last year"</i></p>	<p>Risks of losing production due to grazing</p> <p><i>"The problem is how to protect it from cattle grazing in the dry season?"</i></p> <p><i>"So you need to grow it where it is easy to protect it from free grazing"</i></p> <p><i>"Fencing is too expensive"</i></p>	<p>Risks of losing production due to grazing</p> <p><i>"The short variety is much better because you can harvest the grain before the cattle get into the field"</i></p>
4. Post production strategy	<p>Food diversification</p> <p><i>"I don't sell lit. People don't know it" "I didn't know it was good as fodder" "the grain is very sweet. My wife likes cooking it"</i></p>		
5. Labor management	<p>Low work load</p> <p><i>"I plant it last". "I don't always weed"</i></p>		

The following paragraphs present the evolution and characteristics of each of the five ICSs and the main results of the innovative farmers' evaluation of these systems (Tables 2a-2e, column 2) using the five evaluation criteria mentioned above. It should be noted that these farmers' evaluations are based on their understanding and implementation of the systems within their particular context.

ICS1 (Table 2a) is a mixed-cropping system of sorghum with a legume (cowpea, peanut, or soybean), dibbled on the same line, and rotated with cotton or maize. According to some farmers interviewed during

on-farm tracking, a mixed system of sorghum and cowpea, in which the seeds of each were mixed for sowing, used to be a common practice. This system has all but disappeared with the introduction of mechanical weeding and ridging with animal traction, which makes this traditional system difficult to manage. In ICS1, instead of mixing seeds and planting everything together, innovative farmers sow the two crops between each other on the same ridge at different times. Sorghum is generally sown first, with the legume sown between the newly emerged sorghum. Innovative farmers said that this organization of sowing made weeding (using animal traction based on the legume cycle) easier (Table 2a, column 1, row 5), although sowing involved more time and effort compared to the traditional system. Nevertheless, even with this weeding being easier than the traditional system, sowing, and harvesting were still considered a weakness of this ICS compared to sole crops (Table 2a, column 1, row 5). The main strength of the system, as indicated by more than 50% of farmers, was having a gap between the harvests, one of which coinciding with the lean season (Table 2a, column 1, row 4): If the legume is cowpea or peanut, the farmer will be able to harvest it just before ridging. Furthermore, the two harvests translated into increased grain productivity per hectare compared to either sole crop (i.e. Land Equivalent Ratio >1) (Table 2a, column 1, row 1).

ICS2 (Table 2b) is a rotation of sole soybean with sole maize or cotton, all three being cash crops on a large area (at least 1ha). According to interview responses from the 70 farmers, sole soybean is mostly grown as a staple crop on very small plots (between 0.1 and 0.25 ha) by women for processing into products (condiments made from fermented pulses called “soubala”) consumed by the household. Soybean in ICS2 is much more input-intensive, uses larger areas, and is intended for the emerging market linked to the development of a soybean oil-processing unit in Ouagadougou. According to innovative farmers, the main strength of the system is the sale of grain to private buyers (Table 2b, column 1, row 4), which more than offsets the labor costs associated with harvesting large areas quickly (to avoid pods opening in the field) at a time that coincides with the lean season. (Table 2b, column 1, rows 3 and 5). Farmers also highlighted that growing soybean helps improve soil fertility, and reduces populations of Striga—a plant parasite of cereals (Table 2b, column 1, row 2).

ICS3 (Table 2c) is sole red cowpea followed the same season by a crop that can be valued for its biomass. During interviews, farmers said that red cowpea is often the first crop sown because the pods can be harvested during the rainy season, as they are less sensitive to fungi than other cowpea varieties. It was also explained that some farmers used to follow red cowpea with sesame (*Sesamum indicum*)—a crop quite resistant to drought, but with no significant biomass value. However, with climate change, farmers complain that the rainy season is getting shorter, and it is increasingly difficult to harvest the second crop. Innovative farmers reduced this risk by sowing a second crop that can be valued for its biomass, such as white cowpea or maize (stalks) for fodder, or hibiscus (leaves) for soup. Being able to manage risk in this way was seen as a strength by more than 50% of innovative farmers (Table 2c, column 1, row 3). Perhaps a more important strength of ICS3 is that it allows for two harvests, providing greater household (and livestock) food security

(Table 2c, column 1, rows 1 and 4). However, two harvests mean extra labor. Fortunately, this extra work does not overlap with the labor requirements of cash crops such as cotton or maize on other fields (many innovative farmers are also producing cash crops), so it was not considered a weakness (Table 2c, column 1, row 5). The carry-over effect of the legume on soil fertility and biomass crop performance was also highly valued by farmers (Table 2c, column 1, row 2).

ICS4 (Table 2d) is sole Mucuna for fodder production followed by maize, and is farmed by Fulani herders. Previous projects aimed to expand Mucuna cultivation within the study area to feed cattle (Coulibaly et al., 2012). Some of the 70 interviewed farmers were part of that project and explained that they did not have the necessary equipment to make or store bales of fodder from Mucuna biomass. They considered the need to feed their family before the need to feed their cattle, and as they could not use Mucuna beans for human consumption, they did not grow Mucuna. Only a few herders with access to baling equipment and covered storage facilities adopted Mucuna. These farmers did not mention labor-management issues, unlike the other innovative farmers who considered the need for equipment and facilities as a weakness (“no consensus” Table 2d, column 1, row 5). Innovative Mucuna farmers used the crop to feed ruminants kept near the house: mainly dairy cows or sick cattle during the dry season, a practice appreciated by more than 50% of the farmers (Table 2d, column 1, rows 1, 3, and 4). They also appreciated the fact that Mucuna is a good crop to grow before maize for its positive carry-over effect on soil fertility (Table 2d, column 1, row 2). For these farmers, the hardest part is producing seed (Table 2d, column 1, row 3).

ICS5 (Table 2e) sole pigeon pea grown on a small area followed by maize. According to several farmers interviewed, pigeon pea has been promoted in the past by extension agents and NGOs for fodder production. However, farmers involved in such projects said it has not been adopted because the cattle did not eat the plant biomass, and seed was difficult to produce due to the length of the crop cycle. Pigeon pea was the only ICS whose production was not considered a strength by innovative farmers (Table 2e, column 1, row 1). The one innovative farmer who crops pigeon pea sows it on poor soils in a very small area. The seeds are difficult to find in Burkina Faso, so the farmer bought them in Ivory Coast. The farmer’s main incentive was diversifying the household’s diet (Table 2e, column 1, row 4), even though grain yield is quite low (Table 2e, column 1, row 1). He also mentioned the crop’s resistance to drought (Table 2e, column 1, row 3), and role in managing weeds and improving soil fertility (Table 2e column 1 row 2) as strengths of the system. The main difficulty expressed by the farmer was the risk of cattle damaging the pigeon pea before it flowers when free grazing starts (Table 2e, column 1, row 3).

1.3.2. Participatory Prototyping Trials and Field Days.

When compiling the evaluation results from field-day farmers (Tables 2a-2e, columns 2 and 3), it was determined that they used the same five general criteria (refer to paragraph 2 in Section 3.1) to evaluate the ICSs as innovative farmers. Contrary to the evaluation by innovative farmers, field-days farmers rated the

productivity of ICS1 a weakness in PPT1, explaining that the total crop density was too high, especially in Boni where farmers are less familiar with intercropping practices. Farmers argued that there would be competition for light and soil nutrients, meaning there was a risk of individual sorghum and legume plants underperforming (Table 2a, column 2, row 1). However, many farmers strongly highlighted how the intercropped sorghum looked much better (more biomass and greener) than sole sorghum, suggesting the legume enhanced soil fertility (Table 2a, column 2, row 2). A few farmers suggested alternating crops between the rows instead of within the rows, even though it implies a lower density of sorghum. Therefore, in PPT2, sorghum-legume intercropping systems using either inter-row or within-line sowing were placed side by side, but the field-day farmers did not agree on which layout they preferred (Table 2a, column 3, row 1). According to fewer than 50% of the field-day-farmer groups, the soil should not be too fertile to prevent sorghum from overtaking the legume (Table 2a, column 2, row 3), but should be sufficiently fertile to make the sorghum strong enough to resist competition from the legume; especially if the legume was sown first (Table 2a, column 2, row 3). Both innovative farmers and field-day farmers agreed that intercropping makes it possible to separate the harvest periods and enhance household food security (Table 2a, row 4). Even though fewer than 50% of innovative farmers complained about labor (Table 2a, column 1, row 5), it was the main worry of most field-day farmers during PPT1 (Table 2a, column 2, row 5), especially the possibility of not being able to ridge with animal traction. In response to this concern, PPT2 was organized in a way that enabled ridging using animal traction. This reorganization resulted in some farmers assessing the ICS more positively in PPT2 (Table 2a, column 3, rows 1 and 3).

Concerning ICS2 (Table 2b), while innovative farmers intensified their soybean production to harvest enough grain to access the value chain, field-day farmers were not very confident about the market (Table 2b, column 2, row 5), but appreciated soybean for household consumption (Table 2b, column 3, row 5). A few groups appreciated the fact that sole soybean requires much less labor than intercropped soybean, especially because selective herbicides can be used (Table 2b, columns 2 and 3, row 5). Field-day farmers agreed with innovative farmers that, soybean is good for soil fertility and *Striga* management (Table 2b, row 2). Field-day farmers also talked about the fact that soybean needs to be harvested quickly (Table 2b, columns 2 and 3, row 3), but did not refer to this as a major obstacle, unlike the innovative farmers (Table 2b, column 1, row 5). For this ICS, the evaluations in the two communities were similar.

Concerning ICS3 (Table 2c), according the field-day farmers, the possibility of harvesting two crops in one field, including one that helps during the lean season, is the main strength of the intra-annual succession system (Table 2c, column 2, row 1). The choice of a second crop whose biomass can be exploited reduces the risk of losing the second crop if the rainy season ends early, and is another main strength of the ICS (Table 2c, columns 2 and 3, row 1). In PPT2, the field-day farmers did not emphasize this strength, as they were aware of the difficulty of sowing the first crop sufficiently early to be able to sow a second one, especially due to free grazing (Table 2c, column 3, row 3). The farmers in Founzan stressed this difficulty more than

farmers in Boni, saying that this ICS could not succeed because of this problem. Unlike the innovative farmers (Table 2c, column1, row 3), the field-day farmers did not emphasize the benefits of red cowpea improving soil fertility for the second crop (Table 2c, column 2, row 2), and sometimes saw it as a difficulty for weed management (Table 2c, column 3, row 2). The field-day farmers also had more comments to make about the extra work required to grow two crops successively (Table 2c, columns 2 and 3, row 5).

Concerning ICS4 (Table 2d), both innovative and field-day farmers viewed Mucuna as an easy way to obtain large quantities of quality fodder while improving soil fertility (Table 2d, rows 1, 2, 3, and 4). The main difficulty is producing seed (Table 2d, row 3), especially in the opinion of the field-day farmers in Founzan, where some had tried the crop but stopped after losing the seeds. There was a notable knowledge gap between farmers in Founzan and Boni, where most had never seen the crop before. This resulted in greater variation in responses from field-day farmers, whereas innovative farmers' evaluations of this system were relatively consistent. The field-day farmers regretted that the grains are not fit for human consumption (Table 2d, column 2, row 4). In Founzan, however, one farmer said that the grain could be used to feed fowl, which triggered a positive reaction from the others (Table 2d, column 3, row 4). A concern expressed by some of the field-day farmers was the difficulty involved in properly drying, transporting, and storing it without the necessary equipment (Table 2d, columns 2 and 3, row 5).

Concerning ICS5 (Table 2e), none of the field-day farmers were familiar with pigeon pea, so they based their evaluation on what they could see, and on the agronomist's answers to their questions. As with innovative farmers, they also appreciated the fact that pigeon pea grows well on poor soils (Table 2e, row 3), and improves soil fertility (Table 2e, row 2), especially after seeing the carry-over effect on PPT2 by comparing the same maize cultivar after pigeon pea, Mucuna, cowpea, cotton, or another maize. The main difficulty is the length of the crop cycle resulting in low grain yields (Table 2e, column 2, row 1). Furthermore, farmers noted that even though there are benefits to it being drought resistant, the fact that its leaves stay green after the rains stop makes it at risk of being grazed before the grains reach maturity (Table 2e, row 3). Consequently, we introduced a cultivar with a shorter growth cycle in PPT2, which was assessed more positively (Table 2e, column 3, row 1).

1.3.3. Characteristics of Farmers and their participation and contribution

Herders are more represented among innovative farmers than among field-day farmers or the 299 farmers from the "RELAX - Agropolis Fondation," (n.d.) study (Figure 8). This can be explained by the fact that several legume-based innovations enable farmers to produce fodder, especially Mucuna or, to a lesser extent, intra-annual succession. In terms of farm area, only one innovative farmer among 22 had less than three hectares of cropped area, which is a much lower proportion than other farmer groups (Figure 7). Field-day farmers tend to crop larger areas than the 299 farmers sample (Figure 7). However, there is no obvious difference concerning the number of cattle owned by the household (Figure 8).

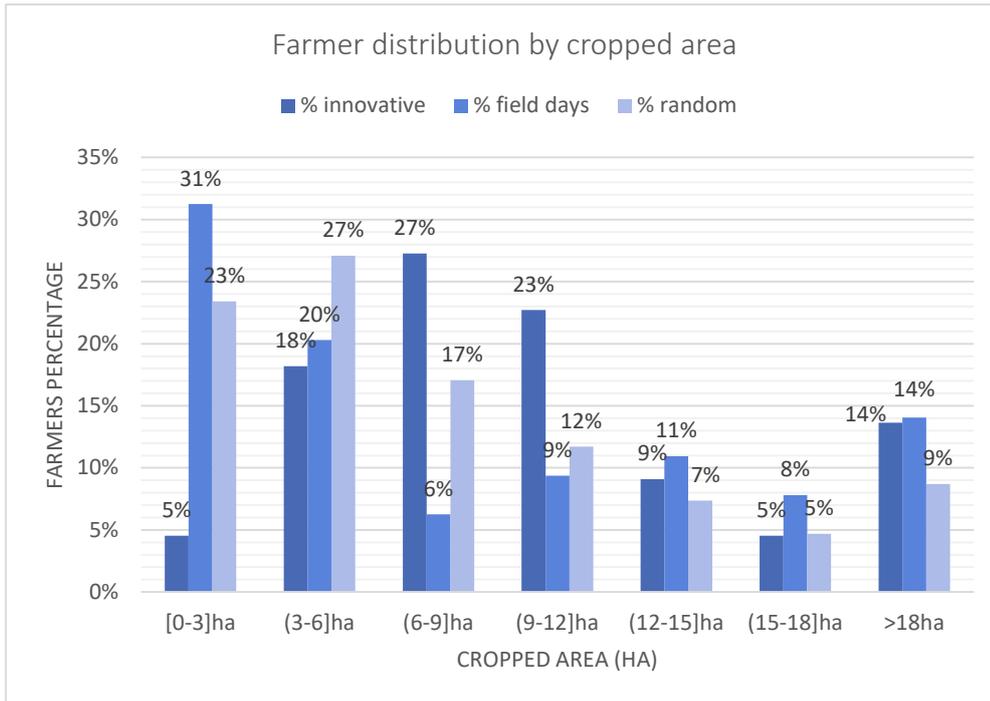


Figure 7: Distribution in percentage of 22 innovative farmers (“% innovative”), 64 field-day farmers (“% field days”) and 299 randomly selected in the Tuy Province (“% random”) by the cropped area (ha) in their farm in 2017.

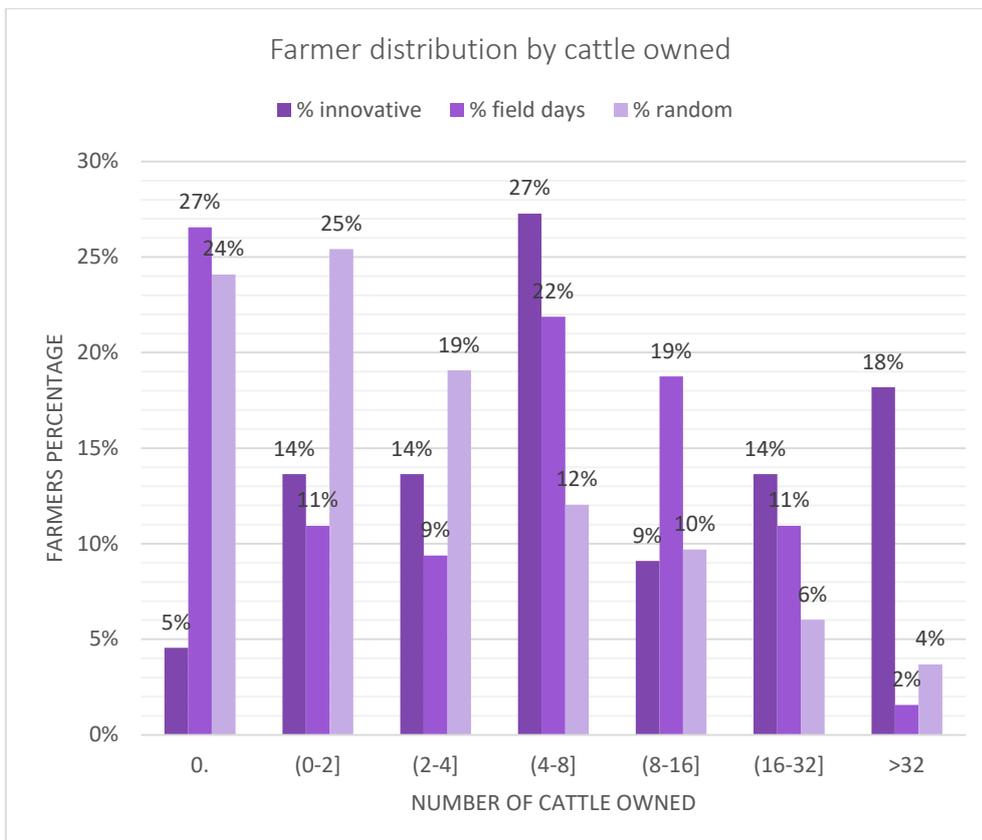


Figure 8: Distribution in percentage of 22 innovative farmers (“% innovative”), 64 field-day farmers (“% field days”) and 299 randomly selected in the Tuy Province (“% random”) by the number of cattle owned by the household (logarithmic scale).

During the participatory workshops (Table 3), farmers provided feedback and ideas that helped the researcher decide the final design of ICSs. During the evaluation workshop (Table 3), farmers were particularly interested in ICS crop yields, which were shared by the researcher. Comments made by farmers about the ICSs were consistent with their comments during evaluation field days, no new information was obtained from these evaluation workshops.

Farmer attendance rate throughout the study was between 60% and 130% in Boni, and between 70% and 163% in Founzan (Table 3). The 130% attendance rate in Boni and 163% rate in Founzan occurred during the first field day (Field-day Intro.) as some farmers came without having been invited. Women were a minority in all activities representing only 12% (nine) of the 73 total participants, and did not speak much during the workshops. The women were particularly interested in the multipurpose characteristics of pigeon pea, which can be used as fodder for cattle and small ruminants, as well as for household consumption.

Table 3: List of activities involving the field day farmers per communities. Workshops are collective activities led in a municipal room, and Field days are collective activities led on the Participatory Prototyping Trials of 2017 (PPT 1) or 2018 (PPT2). The counted attendees are farmers participating to the activity.

Community	Activity name	Location	Date (DD/MM/YY)	Attendance rate (%)
Boni	Participatory workshop	Municipal room	11/05/17	92%
Boni	Field day Intro.	PPT1	04/08/17	130%
Boni	Field day Eval.	PPT1	21/09/17	67%
Boni	Evaluation workshop	Municipal room	18/04/18	60%
Boni	Field day Eval.	PPT2	03/10/18	100%
Founzan	Participatory workshop	Municipal room	10/05/17	76%
Founzan	Field day Intro.	PPT1	14/08/17	163%
Founzan	Field day Eval.	PPT1	27/09/17	71%
Founzan	Evaluation workshop	Municipal room	19/04/18	87%
Founzan	Field day Eval.	PPT2	02/10/18	70%

1.4. Discussion

1.4.1. Introducing innovative legume-based cropping systems

In the Tuy Province where legume farming is minimal (Coulibaly et al., 2012), on-farm innovation tracking was used to identify farmers growing atypical legume-based cropping systems. With the help of extension agents, the researchers identified 22 such innovative farmers out of 70 legume-producing farmers. This approach to identifying innovation differs from traditional approaches where researchers rely heavily on farm typology information (Alvarez et al., 2018; Tittonell et al., 2020), and focus their attention on, and focus their attention on dominant systems (Bainville, 2017). In such classical approaches, potentially transformative innovations among atypical systems are often overlooked, and therefore, rarely studied (Doré et al., 1997). The current study focused on the innovations developed by innovative farmers to reveal and/or

confirm solutions to local drivers of change. Pant and Hambly Odame (2009) also worked with innovative farmers, whom they identified as “positive deviants”. The literature describes positive deviants as individuals within a community whose atypical behaviors or actions address complex local challenges that their peers, with similar available resources, also face. In our study, innovative farmers may have larger farms and livestock than most farmers in the area, but they belong to the same sociotechnical system as field day farmers. Positive deviants are usually seen as performing particularly well (Bradley et al., 2009), hence the term “positive”. In this paper, the innovations studied met innovative farmers’ criteria while respecting agroecological principles, so the innovations themselves may be considered as “positive”. In this positive aspect, positive deviants and farmer’s innovations are what may inspire peers and catalyze change in the community. In the current study the PPTs, played the role of revealing innovations to initiate adoption by other farmers.

Although the five types of ICSs in this study were considered atypical for the area, components of each ICS are comparable with cropping systems existing in other regions of Africa. For example, sorghum intercropped with cowpea (Dabat et al., 2012) is common in the north of Burkina Faso (Zongo et al., 2016) and Mali (Falconnier et al., 2017). The climate being dryer there, it is easier to grow cowpea using less pesticide (Dabat et al., 2012). Soybean is grown as a cash crop in several West African countries (Odendo et al., 2011) with good technical knowledge. The system with cowpea in intra-annual succession is less common in the literature. Cowpea is usually cultivated as a sole crop, or intercropped with a cereal (Dabat et al., 2012). Cowpea has the advantage of a short cycle (60 to 70 days) but is quite sensitive to pest and disease (Bado et al., 2006). Only a hardy variety such as red cowpea can be used as an early sown crop that can be harvested when it is still raining. Pigeon pea is common in neighboring countries (Jalloh et al., 2012)—sometimes in intercropped systems, where the grains are part of the traditional diet (Kerr et al., 2007; Ene-Obong and Obizoba 1995). Mucuna is farmed primarily in East Africa where the leaves are used as fodder, and the grains are sometimes consumed by people after special treatment to eliminate their toxicity (Muoni et al., 2019b).

Although the ICSs introduced here are not completely innovative for Africa, the innovative farmers made specific adjustments, for instance in the selection of crop variety and its management, to adapt their ICSs to constraints and opportunities in their particular environmental and sociotechnical system. Some of the ICSs are more atypical than others. Pigeon pea (ICS5), for example, was found on only one farm, whereas the four other ICSs were found on four to seven farms in the study area.

1.4.2. Innovative farmers’ evaluations of ICSs and links to local drivers of change

Analyzing and crossing innovative farmers’ evaluation criteria with the local drivers of change described in the literature, suggest that the innovative cropping systems have been implemented and adapted in response to the main drivers of change in the area. For example, farmers were interested in sorghum-legume intercropping (ICS1) to increase their productivity per hectare, which addresses the

challenge of increasing land pressure in the cotton-production zone (Jahel et al., 2015). Soybean as a cash crop (ICS2) is grown by innovative farmers in response to the emergence of the soybean market, whose value chain is currently taking shape (Guilloux et al., 2018). In intra-annual successions (ICS3), the choice of a second crop that can be valued before its cycle is completed is a strategy to adapt to the shortening of the cropping season, and the uncertain rainfall pattern caused by climate change (Gérardeaux et al., 2015; Vall et al., 2008). Mucuna as a fodder crop (ICS4) is expanding with the intensification of livestock farming. Fodder crops are produced for dairy cows, traction bullocks, and sometimes for cattle fattening, and these activities are being developed by both Fulani herders and farmers (Vall et al., 2017; Zoma-Traoré et al., 2020). Finally, pigeon pea (ICS5), whose leaves begin to fall quite early in the cycle and form litter, may help for both restoring soil fertility and managing weeds (Hepperly et al., 1992). This decreases the need for a fallow to counteract soil fertility depletion in the context of increasing land pressure (Jahel et al., 2015). Innovative farmers are aware of soil fertility depletion, and they see the use of legumes as a way to improve productivity in the short term (carry-over effect, Striga management, etc.).

1.4.3. Comparison between evaluations made by innovative farmers and field-day farmers

Both innovative and field-day farmers mentioned the same general criteria (Criteria Column in Tables 2a-2e) when discussing how they evaluated an innovative system. Furthermore, the evaluations themselves revealed many similarities between both categories of farmers, supporting the study's hypothesis that many farmers in the study area have the same concerns or challenges: farmers, regardless of their innovative potential, make farming decisions using similar agronomic rationale, and are more likely to adopt innovations from other farmers who operate within the same sociotechnical system. However, to verify this hypothesis, it would be interesting to monitor field-day farmers' adoption of the ICSs.

The criteria that mattered most to both innovative and field-day farmers were concerned with short-term benefits, supporting evidence that farmers do not use the same indicators and criteria as agronomists (Toffolini et al., 2016). Agronomists highlight the quantitative performance of the systems, including yield, gross margin, and labor productivity (Sadok et al., 2008), while farmers are also sensitive to more qualitative, operational, or organizational aspects (Ronner et al., 2019). For instance, regarding harvest timing, short-cycle legumes harvested in August provide household food while waiting for the cereal harvest, even though yields of short-cycle legumes are often low. The distribution of the workload and system flexibility also mattered to farmers, as illustrated by the fact that the main challenge with soybean is that harvest cannot wait and happens at the same time as the maize harvest (Table 2b).

Resilience and flexibility are also important criteria for both innovative and field-day farmers, sometimes even more important than productivity, because they enable farmers to better adapt to drivers of change and risks (Milestad et al., 2012). For example, several field-day farmers emphasized that their

interest in pigeon pea is its ability to grow on poor soils and its resistance to drought, despite its low productivity in actual conditions. Field-day farmers also appreciated the multi-purpose characteristics of the second crop in the red cowpea intra-annual succession (ICS3). Resilience and flexibility are rarely among the set of sustainability indicators established by researchers (Sadok et al., 2008), who focus more on the medium and long-term impacts of cropping systems (e.g. soil fertility, greenhouse gas emissions, water pollution).

The three sustainability dimensions that usually structure cropping system evaluation (Smith et al., 2017) appeared several times among the farmers' criteria: (i) "economic sustainability" appeared in the form of agricultural income and market access; (ii) "human wellbeing" was mentioned in connection with food security and workload; and (iii) "environmental sustainability" was taken into account through soil fertility. However, the farmers did not mention long-term criteria such as biodiversity, carbon sequestration, erosion, or soil biological activity and quality, which are frequently used by agronomists. They also did not mention social aspects like gender equity or information access.

There were also differences between the evaluations made by innovative and field-day farmers that revealed the concerns and possible obstacles to the adoption of the ICSs. Some of these obstacles depend on the producer and represent perceptions, beliefs, or knowledge gaps (Leclère et al., 2018). For example, farmers who do not grow intercrops tend to overestimate the risks of competition between species and lack knowledge of practices that avoid such competition. Other obstacles are more dependent on the sociotechnical system (Meynard et al., 2017). For instance, free grazing can hamper ICSs that require early sowing (e.g. in the intra-annual succession system – ICS3), or late harvesting (e.g., in the pigeon pea system – ICS5).

1.4.4. Use of ICSs and PPTs to introduce innovation

The ICSs designed by innovative farmers in the study area in response to local drivers of change will probably require fewer organizational changes when implemented by other local farmers, compared to breakthrough innovations designed by researchers at experimental stations (Geels and Schot, 2007; Duru et al., 2015). For instance, conservation agriculture (Scopel et al., 2013; Corbeels et al., 2014) may be efficient in improving both short- and long-term soil fertility, but often requires strong changes linked to the sociotechnical system (e.g. landscape management, supply chain) (Dabire et al., 2017). In the current study, the field-day farmers identified very few obstacles to the implementation of the ICSs. This is consistent with the fact that the ICSs are already implemented within the local sociotechnical system. Moreover, even though the field-day farmers did not have the opportunity to test the ICSs on their farms, they were able to imagine the ICSs in their context.

The PPTs enabled visual and hands-on comparisons of the ICSs at evaluation field-days, timed just before harvest, when differences in crop productivity are most evident. Moreover, focusing on local innovative systems, and demonstrating them under local conditions in terms of soil, climate, and land-use

management, made it easier to trigger conversations between farmers by enabling them to use and gain situated knowledge (Navarrete et al., 2018). For instance, the PPT in Founzan was sown later than in Boni because cattle were left out to graze longer in Founzan. Therefore, the ICS was decontextualized in its relation to the farming system of the innovative farmers, but partially re-contextualized it in its relation to the community. While researchers consistently gained information from farmers during field days, evaluation workshops provided no new criteria or evaluations, suggesting the actual visualization of ICSs in the field was crucial to the initiation of fruitful discussions among farmers.

Due to the characteristics of PPTs, ICSs could not be evaluated taking into account all the farmers' local conditions and criteria (Amudavi et al., 2009). This may have resulted in evaluation biases (Ashby, 1987). For instance, the ICS with soybean as a cash crop (ICS2) could not be properly assessed by field-day farmers in a PPT plot, as one of its main issues is the difficulty in harvesting rapidly large areas. Similarly, it was not possible to demonstrate the storage issue associated with the Mucuna system (ICS4), or the food security benefit of the pigeon pea system (ICS5). Future studies utilizing the PPT approach should consider ways to illustrate system characteristics that are not revealed through small-trial plots.

PPTs made it possible to involve farmers without implementing themselves a system they are unfamiliar with, thus saving them from taking associated risks. A variety of approaches can be used to study the relevance of innovations, including participatory workshops, modeling tools (Dogliotti et al., 2014; Berthet et al., 2016), field days on producers' fields, or experimental plots, such as with Farmer Field Schools (Phillips et al., 2014; Duveskog et al., 2011). The advantages of the last two are that the farmers can observe what actually happens in the field (Amudavi et al., 2009). The practices to be evaluated are concrete. Prototype trials, which are generally used for agronomic evaluation and demonstration for farmers (Meynard et al., 2012; Husson et al., 2016; Compagnone et al., 2018), were successfully used here for participatory evaluation, and to trigger a process of innovation by the field-day farmers.

1.4.5. Farmers' knowledge and co-learning

The farmers' evaluations were dependent on their knowledge and experiences (Van Asten et al., 2009). For example, intercropped systems and Mucuna were more appreciated in Founzan, where farmers have a better knowledge of intercropping than in Boni. Moreover, all field-day farmers assessed pigeon pea in the same way, as none of them were familiar with this crop. Farmers' evaluations of the ICSs evolved from one season to the next, supporting the idea that, as knowledge of, a system increases, opinions and evaluations of the system change. From one field day to the next, evaluation comments came faster in the discussion, and opinions were firmer, revealing a learning process on legumes and on the legume-based ICSs.

Collaboration between researchers and farmers enabled co-learning (Falconnier et al., 2017). In the PPTs, researchers learned about the systems resulting from the innovation tracking, even though scientific evaluation was not a prior objective of these trials. Researchers also learned about ICSs' strengths and

weaknesses for different farmers, and about the range of evaluation criteria farmers have apart from yields (Ronner et al., 2019). Simultaneously, the field-day farmers began to understand the management and performance of the ICSs through observation and discussions. This interwoven learning, combining farmers' empirical knowledge with researchers' scientific knowledge, is a source of new agronomic knowledge (Girard and Navarrete, 2005). This "actionable knowledge, that can be mobilized for the implementation of cropping systems" (Leclère et al., 2018), helped the researchers define ICS management on the PPTs, and improve the ICSs between year 1 and year 2. These improvements, based not only on agronomic principles, but also on farmers' knowledge and evaluations, constitute a first step in a co-design process (Meynard et al., 2012; Ronner et al., 2019; Reckling et al., 2020).

Thanks to collective dynamics, the study's approach also supported co-learning among farmers, despite their different farming systems and previous experiences with legumes. Informal knowledge exchanges among farmers occurred during field-days, and also at the margins of PPTs, before and after field-days, with no researcher present to record the discussion.

1.4.6. Initiation of a co-design process with a wide range of farmers

This study aimed to develop cropping systems with, and for, any farmer, without distinction of income, in an inclusive innovation process (Heeks et al., 2014; Swaans et al., 2014). The purpose was not to establish an ex-ante typology (Tittonell et al., 2009), or design different technical options to fit the biophysical and socio-economic niches (Ojiem et al., 2006; Pigford et al., 2018). Instead, this study emphasized bringing together farmers with diverse farming experiences, including livestock farmers, to foster diverse conversations, and obtain their evaluations with no prior information on which ICS they would appreciate most, as it is difficult to predict farmers' preferences from their household characteristics (Ronner et al., 2017). To better involve a diversity of farmers, the study used an inclusive method of evaluation, where the evaluation criteria came from the farmers themselves and were mostly qualitative. Although the study does represent a wide range of farmers, marginalized people, such as women, were underrepresented. This may be due to the biases of the community contact people tasked with identifying farmer volunteers for the study, as they likely identified farmers within their circles.

The methodology used in this study could be used by development operators to trigger change in a region. This study builds on tools already used for development, such as participatory workshops, trials, and field-days. For instance, the PPTs constitute an interesting "basket of options" from which farmers can select an ICS that they can adapt to their context (Ronner et al., 2017). Also, using farmers' evaluations to improve PPTs enables a participatory dynamic that resembles the Farmer Field Schools approach for the dissemination of new practices (Phillips et al., 2014; Duveskog et al., 2011). This type of participatory approach is considered time-consuming but has shown effective for farmer capacity building and empowerment (Friis-Hansen and Duveskog, 2012). However, if field-days and participatory trials are common tools to enhance the

dissemination of “good practices” (Phillips et al., 2014; Amudavi et al., 2009), or to support the co-design process (Ronner et al., 2017), building PPTs from farmers’ own innovations is original. This new approach helped farmers adverse to the risks associated with new practices to validate ICSs, likely because the innovations were designed by local farmers, responding to similar drivers of change.

Just as environmental conditions and sociotechnical system are inherently dynamic, so too is innovation. Farming innovation continuously evolves as farmers address new drivers of change (Salembier et al., 2018). Therefore, it is important to continuously track innovations and extend the panel of innovations in comparative trials to satisfy the farmers’ curiosity. From a development perspective, it would be interesting to create a feedback loop between continuous innovation tracking and prototyping trials, to account for new opportunities or constraints, and to monitor closely the dynamics of the territory.

1.5. Conclusion

By combining on-farm innovation tracking and farmers’ evaluations in participatory prototyping trials, a new method was tested that accounts for farmers’ expectations and constraints in an inclusive innovation process, while simultaneously fostering co-learning. This study reveals the reasons why, and to what extent, farmers in the region may be interested in integrating legumes into their cropping systems. ICSs that were identified through this process can respond to local drivers of change and meet many of the farmers’ interests. By identifying and characterizing local innovations and understanding the rationale behind their development, researchers can help drive an innovation process with local farmers. Therefore, this approach could be an efficient starting point for a co-design process. To go further in an inclusive movement and with the aim of co-designing legume-based cropping systems, farmers who began to familiarize themselves with ICSs through field-days should test them on their farms and adapt them to their conditions. This additional step will trigger another cycle of knowledge co-building that should reinforce farmers’ empowerment, and facilitate the inclusion of legumes in the local range of cropping systems.

CHAPITRE 2. Quel système innovant pour quel producteur ? Rôle des activités collectives sur les PPT pour alimenter le choix de chaque producteur

2.1 Introduction

La grande **diversité des situations agricoles** (hétérogénéité des sols et des paysages, différences entre systèmes de production, ressources, trajectoires...) constitue une difficulté pour l'agronome cherchant à accompagner le changement de l'agriculture vers plus de durabilité. Cette diversité est la source de nombreuses questions : Comment faire émerger une diversité de systèmes de culture correspondant à la multiplicité des situations agricoles ? L'agronome doit-il inventer cette diversité ou aider les producteurs à l'inventer ? Si l'agronome doit inventer cette diversité, comment ajuster celle-ci à la diversité des producteurs ? Ces questions sont particulièrement prégnantes en Afrique de l'Ouest où les petites exploitations familiales, majoritaires, font typiquement face à des situations très variables que ce soit entre exploitations, notamment au niveau de l'accès aux ressources (terres, main d'œuvre, équipement...), ou selon les saisons de culture (variations des prix du marché, des conditions climatiques...) (Gafsi, 2007). Ces situations sont également très contraintes par les conditions pédoclimatiques, les règles sociales, et par le manque de trésorerie. Il est donc difficile de trouver des solutions adaptées à chacun (Tittonell et Giller, 2013).

Or, les ambitions de l'**agroécologie**, telles que décrites par Altieri (2002), invitent à concevoir des systèmes agricoles (i) adaptables aux incertitudes sociales et écologiques, et prenant en compte la diversité des situations des exploitations agricoles ; (ii) durables et résilients, et (iii) basés sur l'utilisation des ressources et connaissances locales. Pour cela, il est nécessaire d'adapter les techniques aux besoins et circonstances locales, mais également aux spécificités de chaque producteur en termes de conditions agricoles. Chaque producteur étant unique, avec des moyens, des connaissances, une histoire et un contexte socio-écologique spécifiques, il n'existe pas de solution à la fois idéale et universelle (Meynard et al., 2012).

Au fil du temps, les projets de développement et les démarches de conseil ont cherché des alternatives au conseil uniforme, qui promeut une standardisation des pratiques, peu adaptée à la diversité des producteurs, et des contextes économiques, écologiques et agronomiques. Ainsi, tout en restant dans une posture de concepteurs, les agronomes ont progressivement développé des approches ciblant une adaptation des technologies à la diversité des producteurs, que ce soit au cas par cas, ou selon des types d'exploitation (Landais, 1996). Les typologies d'exploitations donnent une représentation simplifiée de la diversité des systèmes agricoles, en regroupant dans un même type celles qui partagent des caractéristiques fonctionnelles ou structurelles plus homogènes (Tittonell et al., 2020). Les typologies peuvent être utilisées pour cibler les solutions aux problèmes rencontrés (Tittonell et al., 2010 ; Kuivanen et al., 2016), et pour identifier les technologies "les plus adaptées" (Giller et al., 2011). Cependant elles impliquent un compromis

délicat entre, d'une part, des types génériques, dans lesquels il est facile de classer les producteurs avec peu d'exclusions mais qui permettent difficilement de trouver une option adaptée à tous, et d'autre part, des types plus précis, dont de nombreux cas spécifiques seraient exclus (Descheemaeker et al., 2019). Dans ce sens, Ronner et al., 2017 soulignent l'importance de proposer une variété d'options techniques flexibles, plutôt que des paquets techniques rigides et spécifiques à des types d'exploitations. L'approche au cas par cas, qui s'appuie sur la prise en compte des moyens, des problématiques et des trajectoires agricoles spécifiques à chaque individu, augmente les chances d'identifier des solutions pertinentes, mais la lourdeur du cas par cas ne permet pas d'atteindre un grand nombre de producteurs.

Plutôt que de chercher une solution adaptée à chaque producteur ou type de producteur, nous proposons une démarche qui vise à permettre à chacun d'entre eux de choisir l'option la plus adaptée à ses conditions. Pour cela, nous avons mis en démonstration dans des essais de prototypage participatif (PPT) des options techniques variées, issues de la traque aux innovations (voir chapitre 1), ou proposées par la recherche, et intégrant de différentes manières plusieurs espèces de légumineuses avec des cultures importantes dans la zone. Ces PPT, qui ont été implémentés dans deux villages, ont été mis en débat et co-évalués avec une diversité de producteurs de ces villages lors de plusieurs visites collectives. Après une saison de co-évaluation des différents Systèmes de Culture Innovants (ICS), les producteurs ayant participé aux visites ont eu la possibilité de tester un ICS sur leur exploitation, et de choisir, avec l'expérience acquise lors des visites collectives, l'option qu'ils trouvaient la plus intéressante à tester sur leur exploitation.

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer la pertinence de notre approche pour permettre à chaque producteur de choisir et tester un ICS qui réponde à ses contraintes et objectifs : Est-il intéressant de présenter une variété d'options techniques à l'ensemble des producteurs, quel que soit leur type d'exploitation, plutôt que de cibler des options techniques par type ? Dans quelle mesure les activités collectives ont-elles enrichi la réflexion des producteurs et les ont-elles aidés à choisir un ICS à tester ?

En analysant la diversité de producteurs que les PPT ont permis d'impliquer, et en comprenant leurs critères pour le choix de l'ICS à tester chez eux, nous analysons les relations entre structure des exploitations, critères de choix des producteurs et nature du système choisi pour être testé par les producteurs dans leur exploitation.

2.2 Matériel et méthode

2.2.1. Les essais de prototypages participatifs (PPT) et les visites commentées sur les PPT

En tout, 9 Systèmes de Cultures Innovants ont été mis en démonstration dans les essais de prototypage participatifs en 2017 (PPT1), (voir schéma et protocole en ANNEXE 2), avec pour optique de présenter des systèmes variés, intégrant différentes espèces de légumineuses (plus ou moins connues par les producteurs, certaines pour la production de graines, d'autres pour la production fourragère) et différents

modes d'intégration (rotation, relais, association, succession intra-annuelle) avec du sorgho, du maïs ou du coton.

-Sept ICS étaient inspirés de la traque aux innovations : association sorgho⁵-arachide⁶ (Table 4, ligne 1), association sorgho-soja⁷ (Table 4, ligne 1), Mucuna⁸ pur (Table 4, ligne 4), Pois d'Angole⁹ pur (Table 4, ligne 5), succession intra-annuelle niébé¹⁰ rouge/ niébé blanc (Table 4, ligne 3), succession intra-annuelle niébé rouge/ maïs (Table 4, ligne 3) et rotation soja/ coton¹¹ (Table 4, ligne 2).

-Deux ICS étaient proposés par la recherche : Mucuna en relais du maïs et association maïs-pois d'Angole (Table 4, lignes 6 et 7, et ANNEXE 2 pour une description des itinéraires techniques).

Pour proposer ces ICS, l'équipe de recherche a pris en compte les critères que les producteurs ont formulés lors des ateliers qui ont été organisés dans chaque village avant la mise en place de PPT1, dits « ateliers participatifs », avec la participation des mêmes producteurs que ceux qui seront invités aux visites commentées. Durant ces ateliers, les animateurs (l'équipe de recherche) ont soumis oralement différentes propositions aux commentaires des participants. Par exemple, le maïs étant une des cultures principales de la zone, l'idée de systèmes de cultures associant maïs et légumineuses a été proposée, mais les producteurs se sont montrés réticents à l'idée de cultiver du maïs avec une autre culture, craignant une baisse de la productivité à l'hectare du maïs, même si celle-ci est compensée par une autre production. Afin de prendre ce critère en compte, il a été décidé de proposer, dans les PPT, des associations de type additives, c'est-à-dire conservant la densité de maïs utilisée en culture seule. L'association maïs-pois d'Angole en interligne, avec une ligne de pois d'Angole tous les deux billons de maïs ; et le Mucuna en relais du maïs, c'est-à-dire semé après les dernières opérations effectuées sur le maïs, ont ainsi été mis en place dans les PPT.

⁵ *Sorghum bicolor*

⁶ *Arachis hypogaea*

⁷ *Glycine max*

⁸ *Mucuna pruriens*

⁹ *Cajanus Cajan*

¹⁰ *Vigna unguiculata*

¹¹ *Gossypium hirsutum*

Table 4 : Principales caractéristiques des ICS mis en démonstration dans les PPT1. (Extraits de la Table 1 du chapitre 1 pour les ICS 1,2,3,4 et 5, qui sont inspirés de la traque aux innovation)

Ics	Cultures (disposition et rotation)	Gestion des cultures				Production et utilisation	Source de graines	
		Semis	Fertilisation	Désherbage	Récolte			
1	Association sorgho-légumineuse en rotation avec du maïs ou du coton	Sorgho intercalé avec du niébé, de l'arachide ou du soja en alternance sur la même ligne (inter-poquet)	Sorgho et légumineuse semés séparément	Aucune	Buttage du sorgho avec la traction animale	Légumineuses récoltées en premier, permettant la récolte de sorgho en coupant toute la plante	Sorgho et légumineuses pour la consommation domestique	Conservées de l'année précédente ou achetées sur le marché
2	Soja en rotation avec du maïs ou du coton	Soja pur en rotation avec du maïs ou du coton, le tout sur de grandes surfaces	Parmi les premières cultures semées dans l'exploitation	Parfois NPK sur le soja; NPK et urée sur le maïs	Par application d'herbicides sélectifs et/ou en traction animale.	Récolte effectuée avec main d'œuvre externe (doit être faite rapidement pour éviter les pertes dues à l'ouverture des gousses)	Vente (marché émergent du soja)	Achat de semences certifiées
3	Succession intra-annuelle Niébé rouge/culture de biomasse	Niébé rouge suivi d'une culture dont la biomasse peut être utilisée (niébé, maïs, hibiscus, etc.)	Semis précoce de la première récolte (fin mai)	Aucun	Principalement à la main, sauf labour ou billonnage entre les 2 cultures	Première récolte à maturité, pendant la saison des pluies. Deuxième récolte à la fin des pluies	Feuilles de niébé et d'hibiscus utilisées pour la soupe, tiges de maïs pour le fourrage	Conservées de l'année précédente, ou achetées sur le marché local
4	Mucuna en rotation avec du maïs	Mucuna pur en rotation avec du maïs	Parmi les derniers semis de l'exploitation	Pas d'engrais chimique (parfois du fumier)	Un désherbage manuel pour le Mucuna; en traction animale pour le maïs	Fourrage récolté quand le temps est sec, avant maturité des gousses	Pour la production de fourrage, stocké en bottes	Conservées de l'année précédente pour le Mucuna
5	Pois d'Angole en rotation avec du maïs	Pois d'Angole seul en rotation avec du maïs	Parmi les derniers semis de l'exploitation	Aucun sur le pois d'Angole; NPK sur le maïs	Un désherbage manuel pour le pois d'Angole ; par traction animale pour le maïs	Récolte des graines de pois de pigeon pendant la saison sèche (doit être protégée du pâturage)	Pour la production de pois (semences et consommation du ménage)	Conservées de l'année précédente pour le pois d'Angole
6	Mucuna en relai du maïs	Mucuna semé après buttage du maïs, entre les billons de maïs	Maïs semé normalement, Mucuna après dernier désherbage du maïs	Fertilisation du maïs uniquement	Possible par traction animale	D'abord les épis de maïs, en laissant les tiges qui serviront de tuteur au Mucuna. Le Mucuna est fauché avec les tiges de maïs	Epis de maïs et mélange fourragé de fane de maïs et biomasse de Mucuna	Mucuna : production de semences par le producteur (parcelle semée en pur pour les semences)
7	Association maïs - pois d'Angole	Association additive de maïs semé à densités normales, avec une ligne de pois d'Angole toutes les deux lignes de maïs, entre les billons	Maïs semé normalement puis pois d'Angole 1 à 3 semaines après le maïs	Fertilisation du maïs uniquement	Manuelle ou buttage tous les 2 billons de maïs	Les épis de maïs sont récoltés, puis le pois d'Angole est fauché pour le fourrage	épis de maïs et fourrage avec les feuilles de pois d'Angole	Pois d'Angole production de semences par le producteur (parcelle semée en pur pour les semences)

La deuxième année, les PPT2 (voir schéma et protocole en ANNEXE 3), reprennent les mêmes systèmes que les PPT1 avec :

- Une nouvelle organisation des parcelles élémentaires permettant
 - de respecter les rotations prévues tout en répétant les Systèmes présentés sur les PPT1, mais en perdant la possibilité de comparer les cultures associées aux cultures pures, les cultures précédentes n'étant plus les mêmes,
 - de comparer différents effets précédents : comparaison de maïs après Mucuna, pois d'Angole, niébé et maïs fertilisé ; comparaison de coton après soja, arachide, sorgho et maïs fertilisé.
- Des ajustements des itinéraires techniques suggérés par les producteurs, dont principalement un buttage (Figure 9) effectué sur le sorgho (associé ou non), sur le maïs (associé ou non), et sur le coton, et facilité par l'élargissement des couloirs entre parcelles (2,5m plutôt que 1m) permettant de manœuvrer avec les bœufs.
- Des variantes des systèmes introduits à la demande des producteurs :
 - Une nouvelle variété de pois d'Angole, dont les semences ont été fournies par l'ICRISAT, de cycle plus court, a été semée en pur en comparaison avec la même variété que sur les PPT1, fournie par l'INERA (Figure 16);
 - Des associations sorgho-soja et sorgho-arachide en interligne ont été mises en place à côté des mêmes associations en inter poquet ;
 - Une association sorgho + niébé a été testée.



Figure 9 : Buttage du coton sur le PPT2 de Boni, août 2018 (Photo : A. Périnelle)

Des visites collectives ont été organisées sur les PPT1 et les PPT2, comme cela est décrit dans la partie outils et méthode du chapitre 1 (paragraphe 1.2.3, page 38).

Les producteurs participant aux activités collectives (ateliers participatifs et visites collectives), ont été invités, dans chaque village, par un villageois en charge de nous aider à organiser les activités. Cette personne a été chargée d'inviter entre 20 et 30 producteurs du village de manière à avoir un groupe diversifié, avec différents types d'exploitations (agriculteurs produisant du coton ou n'en produisant pas, éleveurs, agro-éleveurs...) et caractéristiques sociales (jeunes et anciens, hommes et femmes, différentes ethnies...). Les producteurs participant à une activité étaient réinvités à participer à l'activité suivante. Des participants se sont rajoutés lors de visites collectives, sans être formellement invités, mais parce qu'il avaient entendu parlé de l'activité (Table 3)

2.2.2. Modalités d'organisation des Farmers' Adaptation Trials (FAT)

A l'issue des PPT 1, les producteurs ayant participé à au moins une activité (c'est-à-dire les « field-days farmers » du chapitre 1) ont eu la possibilité de choisir un ICS à tester dans leur exploitation sur ce qu'on appelle dans ce document des FAT pour *Farmers' Adaptation Trials*. Ces FAT sont des parcelles d'essai individuelles de 0,25 ha, mises en place et gérées par chaque producteur à côté de ses systèmes habituels.

Parmi les ICS mis en démonstration sur les PPT1, l'équipe de recherche n'a pas proposé aux producteurs, pour les options pour les FAT 1, les rotations soja / coton ou soja / maïs, car l'aspect innovant de ces rotations avec soja est d'être mis en place sur de grandes surfaces à des fins commerciales, notamment avec une intensification du soja (voir chapitre 1, ICS2), ce qui n'était pas possible dans le cadre des FAT.

Par conséquent, les **8 options proposées** étaient : Association sorgho-arachide, association sorgho-soja, Mucuna pur, Mucuna en relai du maïs, pois d'Angole pur, association maïs-pois d'Angole, succession intra-annuelle niébé rouge/ niébé blanc, succession intra-annuelle niébé rouge/ maïs. Ces parcelles mises en place par les producteurs en année 2 de l'étude (2018) sont appelées les **FAT1**. En parallèle des FAT1, les PPT ont de nouveau été mis en place (PPT2), et les producteurs ont été invités à participer à des visites collectives, pour les commenter, comme l'année précédente, mais aussi pour partager leurs expériences de leurs FAT 1.

Les semences nécessaires étaient fournies gratuitement comme cela se fait classiquement pour les essais paysans dans la région, afin de mieux mobiliser les producteurs, et de ne pas subordonner la réalisation de l'essai à l'accès de semences sur le marché. Les quantités distribuées ont été calculées à partir des densités de semis utilisés dans les PPT, sans obligation pour les producteurs de reproduire exactement les densités des PPT puisqu'ils étaient libres d'adapter l'itinéraire technique du système choisi (voir chapitres 3). Pour les mêmes raisons, de l'engrais complet (NPK) était distribué pour le maïs de l'association maïs pois d'Angole et le Mucuna en relai du maïs, aux même doses que celles utilisées dans les PPT (c'est-à-dire 150kg/ha de NPK 14-23-14). Il n'y a pas eu d'engrais distribué pour les autres cultures car il n'y en a pas eu d'utilisé dans les PPT ; cependant les producteurs étaient libres d'en ajouter. Aucun produit phytosanitaire n'a été distribué.

La saison suivante (2018), pour les **FAT 2**, les producteurs avaient la possibilité de continuer à tester le même système (avec la possibilité de faire évoluer ce système par rapport au FAT1), d'en choisir un autre parmi les 7 proposés (l'association maïs-pois d'Angole n'ayant plus été proposée car personne ne l'a choisie pour son FAT1), ou de renoncer à faire un FAT2. De nouveau, les semences nécessaires ont été fournies gratuitement.

En vue de l'analyse statistique des liens entre les choix des producteurs et des caractéristiques des exploitations agricoles, les différents ICS ont été regroupés en trois types¹² (Table 5) afin de permettre les analyses statistiques avec des effectifs suffisants :

Table 5: Description des trois types d'ICS proposés

Type d'ICS	ICS	DESCRIPTION
Association	Association sorgho-soja Association sorgho-arachide	Associations sorgho - légumineuses à graines (soja ou arachide)
Fourrage	Pois d'Angole pur Mucuna pur Mucuna en relais du maïs Association maïs-pois d'Angole	Contient une espèce utilisée généralement comme fourrage (Mucuna ou pois d'Angole)
Succession intra-annuelle	Succession Intra-annuelle niébé rouge/ niébé blanc Succession Intra-annuelle niébé rouge/ maïs	Succession intra-annuelle : niébé rouge/ espèce valorisée pour la biomasse (niébé blanc ou maïs)

Le type « Association » correspond au type d'ICS1 du chapitre 1, et le type « Succession » au type d'ICS 3. Le type « Fourrage » est nouveau, puisqu'il intègre les types d'ICS 4 du chapitre 1 et les 2 propositions issues de la recherche. Ces trois options ont été regroupées dans le même type « Fourrage » car ils contiennent tous une espèce fourragère, le Mucuna ou le Pois d'Angole.

2.2.3. Enquêtes Rhomis (Rural Household Multi-Indicator Survey)

Afin d'obtenir des données sur les exploitations agricoles, nous avons mené des enquêtes guidées de type RHoMIS¹³ créés par l'International Livestock Research Institute (ILRI). Ce type d'enquête s'adresse aux ménages ruraux (une enquête par ménage ou exploitation agricole), et est conçu pour caractériser rapidement une série d'indicateurs normalisés portant notamment le fonctionnement de l'exploitation, la production agricole, l'intégration aux marchés, l'alimentation du ménage et le niveau de richesse (Hammond et al., 2017). Ce type d'enquête contient un module commun à toutes les enquêtes Rhomis (la formulation des questions restant adaptable au contexte local), et des modules adaptables selon les besoins des commanditaires de l'enquête. Cette structure est faite pour faciliter l'analyse conjointe des enquêtes effectuées à différents endroits et à différents moments. Nous avons donc réalisé un travail d'adaptation des enquêtes à notre terrain et à nos besoins : les enquêtes Rhomis sont constituées d'un module « obligatoire » et de modules « optionnels », nous avons adapté le vocabulaire utilisé dans le module obligatoire à notre terrain, et ajouté des questions qui nous intéressaient via des modules optionnels. Nous avons choisi cet outil

¹² Lorsqu'il s'agit du type d'ICS, le nom du type est indiqué avec une majuscule : « Association », « Fourrage », « Succession »

¹³ Pour plus d'information, voir leur site internet : <https://www.rhomis.org/>

car il nous permettait d'obtenir assez facilement des informations pertinentes pour caractériser les grands traits du fonctionnement des exploitations agricoles et, si besoin, de comparer nos résultats à ceux d'autres enquêtes effectuées dans la sous-région. Après avoir adapté les questions avec l'équipe en charge à l'ILRI, les guides d'entretiens sont fournis prêts à l'emploi sur tablette. Nos enquêtes ont été effectuées par 2 enquêteurs formés pour cela (un enquêteur par village). Les résultats sont directement centralisés dans la base de données Rhomis.

Les enquêtes ont été réalisées pour 63 des 73 producteurs ayant participé à nos activités, dont 37 producteurs parmi les 39 qui ont mis en place un FAT1. Ces enquêtes se font en général avec le chef d'exploitation, il n'y a eu donc qu'une seule enquête effectuée par exploitation. Sur les 39 producteurs, 2 faisaient partie de la même exploitation, il s'agissait du chef d'exploitation et de son épouse. Nous avons décidé de ne compter qu'une seule fois l'enquête Rhomis, et de l'analyser en lien avec les choix du chef d'exploitation car il est celui qui prend les décisions au niveau de l'exploitation, et dont les choix sont les plus influencés par l'ensemble de l'exploitation.

Au total, 16 variables ont été extraites de ces enquêtes pour être mises en regard avec les choix des producteurs (Table 6). Ces variables correspondent à des variables classiquement utilisées pour établir des typologies d'exploitation (Berre et al., 2019).

Table 6 : Variables calculées à partir des données Rhomis

Nom de la variable	Type de donnée	Description
Village	Qualitative (Boni/Founzan)	Village dans lequel le producteur a ses parcelles
off_farm_inc	Qualitative (oui/non)	Déclare avoir au moins une autres ressource de revenu que l'exploitation agricole
hire_labor	Qualitative (oui/non)	Déclare faire appel à de la main d'œuvre payée
rent_in_land	Qualitative (oui/non)	Déclare louer de la terre supplémentaire pour cultiver
cotton	Qualitative (oui/non)	Déclare avoir cultivé du coton en 2017
maize	Qualitative (oui/non)	Déclare avoir cultivé du maïs en 2017
legumes	Qualitative (oui/non)	Déclare avoir cultivé au moins une légumineuse (soja, arachide ou niébé) en 2017
debts_have	Qualitative (oui/non)	Déclare avoir des dettes
AE	Quantitative (nombre)	Adulte Equivalent (1 pour le 1 ^{er} adulte + 0.5 pour les autres > 11ans + 0.3 pour < 11ans)
surf_land_owned	Quantitative (ha)	Nombre d'hectares (ha) dont le ménage est propriétaire
land_cultivated	Quantitative (ha)	Nombre d'ha cultivés la saison passée (2017)
AE_per_Land_cult	Quantitative (ratio)	Nombre d'adultes équivalents par hectares cultivés
land_owned_per_land_cult	Quantitative (ratio)	Ratio du nombre d'ha dont le ménage est propriétaire sur le nombre d'ha cultivé
cattle	Quantitative (nombre)	Nombre de bovins dont le ménage est propriétaire
TLU	Quantitative (nbre)	Tropical Livestock Unit ou Unité de Bétail Tropical (UBT) (1 pour un bovin adulte, 0.4 pour un veau ou une velle ; 0.2 pour un ovin ou un caprin adulte...)
TLU_per_Land_Cult	Quantitative (nbre/ha)	Ratio du nombre de Tropical Livestock Unit sur le nombre d'ha cultivés

2.2.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques suivantes ont été implémentées avec le logiciel R (FactoMineR package, (Lê et al., 2008)).

(i) Nous avons analysé les liens entre, d'une part, la mise en place / non mise en place d'un FAT1 (variable binaire oui/non), ou le choix du type d'ICS (Variable à trois modalités : Association, Fourrages ou Succession) pour ceux ayant mis en place un FAT1, et, d'autre part :

- Les 8 variables quantitatives calculées à partir des données Rhomis (Table 6) (AE ; AE_per_Land_cult ; cattle ; land_cultivated ; land_owned_per_land_cult ; surf_land_owned ; TLU ; TLU_per_Land_Cult), par un **test de Wilcoxon** (données non normales et petit échantillon)
- Les 7 variables Rhomis qualitatives de type binaire oui/non (Table 6) (off_farm_inc ; hire_labor ; rent_in_land ; cotton ; maize ; legumes ; debts_have) par des tests d'indépendance des proportions (nombre de oui chez les producteurs (n) ayant mis en place d'un FAT1 ou n'ayant pas mis en place un FAT1) par un test du khi2 quand n est supérieur à 5 ou par un test exact de Fisher quand n est inférieur à 5.

(ii) Une régression linéaire a également été effectuée à l'aide d'un modèle linéaire généralisé (GLM) pour analyser les liens entre la variable binomiale « Mise en place d'un FAT1 » oui/non (variable à expliquer) et l'ensemble des 16 variables présentées dans le paragraphe 2.2.3. Le choix des variables a été maximisé avec le critère d'information Akaike (AIC), grâce à la fonction « stepAIC ».

2.2.5. Etablissement d'une typologie d'exploitations

Les données Rhomis (nombre de bovins « cattle » et la surface cultivée « land cultivated ») ont également été utilisées pour classer les producteurs en 3 types, sur la base des critères proposés par Vall et al. (2006). Ces auteurs classent en effet les exploitations de la zone cotonnière du Burkina Faso selon 3 types principaux (Agriculteurs, Agro-éleveurs et éleveurs), déclinés en différents sous-types pour lesquels des caractéristiques moyennes sont données. La typologie de Vall et al., 2006 est une typologie fonctionnelle se basant sur des différents modes d'intensification et d'intégration de l'agriculture et de l'élevage, pouvant donc être adaptée selon le contexte. Par exemple, (Vall et al., 2017) reprend la même logique de typologie et les mêmes trois types de producteurs (Agriculteurs, Agro-éleveurs et Eleveurs), en adaptant les seuils de nombre de bovins et de superficie cultivée. Vall et al., 2006 puis Vall et al., 2017 ont construit leurs types respectivement dans différentes zones cotonnières d'Afrique de l'Ouest (dont une au Burkina Faso). Pour tenir compte des spécificités des exploitations de notre région d'étude, nous nous sommes livrés au même exercice que Vall et al., 2017, en adaptant les valeurs seuils du nombre de bovins et de la superficie cultivée afin d'avoir les groupes homogènes du point de vue des grands traits du fonctionnement d'exploitation. Les valeurs seuils font partie des résultats de l'analyse et sont explicitées dans la partie 0 (page 68).

2.2.6. Entretiens semi-directifs sur les choix des producteurs.

Au cours des FAT1 et FAT2, plusieurs entretiens semi-directifs ont été réalisés auprès des producteurs expérimentateurs afin de comprendre leur choix d'ICS.

Pour les FAT1 :

- Un premier entretien a été effectué à la distribution des semences, en août 2018, et comprenait des questions sur les raisons du choix de l'ICS,
- Un deuxième entretien a été effectué après les semis des FAT1, en août 2018, et portait sur les modalités de réalisation des semis et sur les difficultés rencontrées concernant les premières opérations réalisées. Il était également demandé au producteur s'il avait déjà cultivé selon un système de culture ayant des caractéristiques proches de l'ICS testé, c'est-à-dire : (i) un système de culture intégrant une culture principalement fourragère pour les producteurs qui testaient les ICS Association Maïs-Mucuna, Mucuna pur, Pois d'Angole pur ; (ii) une association céréale-légumineuse pour les producteurs ayant choisi les ICS Association Sorgho-Arachide; association Sorgho-Soja ou association Maïs-Mucuna ; et (iii) une succession intra-annuelle de deux cultures dont au moins une légumineuse, pour les producteurs ayant choisi les ICS succession niébé rouge/ maïs et succession niébé rouge/ niébé blanc.
- Un troisième entretien a été réalisé à la fin de la campagne, en novembre 2018, et visait à faire le bilan du FAT 1 : le producteur est-il satisfait des récoltes et pourquoi? Quelles ont été les difficultés rencontrées? Le producteur pense-t-il continuer à tester le même ICS l'année suivante ? Pour quelles raisons ? Voudrait-il tester un autre ICS ? Pour quelles raisons ?

Pour les FAT2 :

- Le premier entretien a été réalisé lors de la distribution des semences des FAT2, en avril 2019, et portait sur les raisons du choix de l'ICS testé lors de cette deuxième saison. Il consistait principalement à demander à ceux qui ont choisi d'essayer un nouveau système, les raisons de ce changement.
- Un deuxième entretien a été réalisé chez les producteurs ayant mis en place une association sorgho-légumineuse sur leur FAT2 et portait sur les semis et opérations effectuées depuis les semis, et pour ceux qui avaient fait la même association sur leur FAT1, sur les ajustements effectués entre leur FAT1 et leur FAT2.
- Le dernier entretien prévu après les récoltes des FAT2, n'a pu être réalisé, à cause de la dégradation des conditions de sécurité dans le pays.

2.2.7. Analyse des critères de choix

Les critères de choix des producteurs ont été analysés à partir de leurs réponses aux entretiens semi-directifs (cf. paragraphe 2.2.6). Les critères ont pu être classés dans les 5 mêmes catégories que celles présentées dans le Chapitre 1 (Table 7), auxquelles s'ajoute une catégorie désignée par « En lien avec les apprentissages et connaissances » spécifique aux critères de choix du ICS à tester dans les FAT.

Table 7 : Catégories de critères d'évaluations mentionnés dans le chapitre 1 en anglais, et l'équivalence en français pour ce chapitre

Catégories de critères du chapitre 1	Equivalent en français
1. Production/ yield	1. Productivité/ rendements
2. Soil fertility	2. Fertilité du sol
3. Flexibility/ Risk management	3. Flexibilité/ Gestion du risque
4. Post production strategy	4. Valorisation de la production
5. Labor management	5. Gestion du travail

2.3. Résultats

2.3.1. Relation entre les critères d'évaluation exprimés par les producteurs lors des visites des PPT1 et leurs critères de choix des ICS mis en test dans les FAT 1

Choix des producteurs pour les FAT1

Sur 73 producteurs ayant participé au moins une fois aux activités collectives la première année du processus (PPT1), 39 producteurs (soit 53%) ont mis en place un essai en année 2 dans les FAT1 (Figure 10). En Rouge (NA) sont représentés les producteurs n'ayant pas mis en place d'essai. Les Successions intra-annuelles ont été moins choisies (6 producteurs) que les Fourrages (14 producteurs) et les Associations (19 producteurs). Excepté l'association sorgho-arachide, qui est de loin l'ICS le plus sélectionné pour les FAT1 (12 producteurs), le reste des effectifs par ICS se situe entre 3 et 7 producteurs. Dans le type « Fourrages », aucun producteur n'a choisi l'association maïs-pois d'Angole. La principale raison énoncée par les producteurs est la crainte de compétition entre le Pois d'Angole et le maïs, alors que le maïs est une culture importante et, avec le coton, la seule systématiquement fertilisée. Le relais maïs/Mucuna, également proposé par les chercheurs (c'est-à-dire non issu de la traque), présente moins cette difficulté, le Mucuna étant semé dans le maïs après le buttage de celui-ci, et donc une fois que le maïs est suffisamment développé.

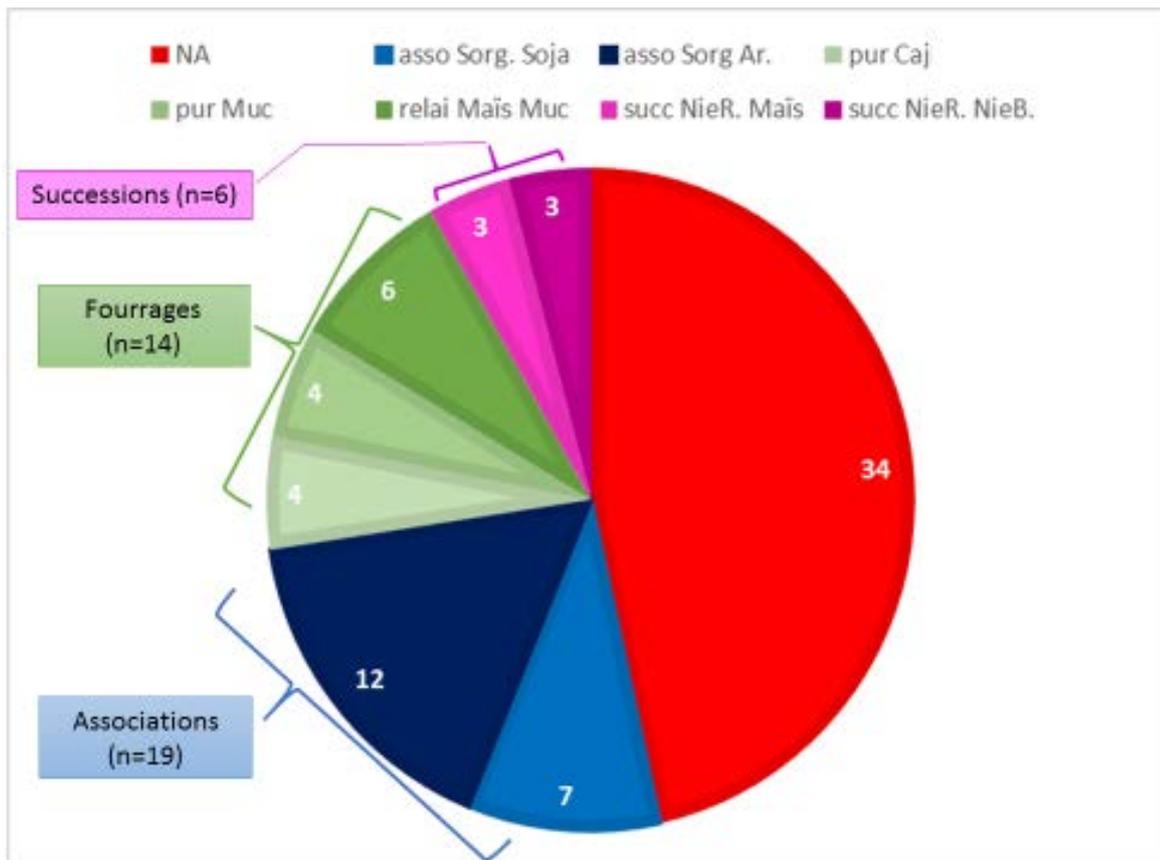


Figure 10 : Répartition des 73 producteurs ayant participé aux activités collectives, en fonction du choix de l'ICS mis en place dans les Farmers' Adaptation Trials 1 (NA : pas d'essai ; Asso Sorg. Soja : association sorgho-soja ; Asso Sorg. Ar : association sorgho-arachide ; pur Caj : Pois d'Angolepure ; pur Muc : Mucuna en pur ; relai Maïs Muc : maïs en relai avec du Mucuna ; succ NieR. Maïs : succession intra-annuelle niébé rouge/ maïs ; succ NieR. NieB : succession intra-annuelle niébé rouge/ niébé blanc). Les effectifs des types d'ICS retenus par les paysans (successions intra-annuelles en mauve ; Fourrages en vert ; associations sorgho-légumineuses en bleu) sont indiqués dans les rectangles colorés.

Evaluation des ICS lors des visites collectives des PPT1 et 2

Les critères d'évaluation et les évaluations formulées par les producteurs lors des visites collectives sur les PPT1 et les PPT2 sont détaillés dans les tables suivantes. Pour les options inspirées de la traque aux innovations (ANNEXE 1), les Associations sorgho-soja et sorgho-arachide sont présentées dans la Table 8, les successions Niébé rouge/ maïs et niébé rouge/ niébé blanc dans la Table 9, le Fourrages pur Mucuna dans la Table 10, et le Fourrage pur pois d'Angole dans la Table 11¹⁴. Les évaluations des options issues des prototypes conçus de novo par l'équipe de recherche, le Mucuna en relais du maïs et l'association maïs-pois d'Angole, sont détaillées respectivement dans la Table 12 et la Table 13.

¹⁴ Ces tables sont extraites respectivement des Table 2a, c, d et e, mais sont remplacées ici car elle présentent des résultats analysés dans ce chapitre.

Légende pour les Table 8, Table 9, Table 10, Table 11, Table 12 et Table 13

	évaluations vues comme des faiblesses de l'ICS
	évaluations pour lesquelles il n'y a pas de consensus entre force ou faiblesse
	évaluations vues comme des forces de l'ICS

Table 8 : **ICS Association sorgho-légumineuse** :évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1 et des PPT2, avec les citations entre guillemets en italique (extraits de la table 2a chapitre 1).

Type de critère	Visites commentées PPT 1	Visites commentées PPT 2
1. Productivité/ rendements	Risques de LER<1 « Vous devriez réduire la densité du sorgho ou cela aura un effet négatif sur les deux cultures, et vous feriez mieux de faire en interlignes. »	LER>1 « On obtient la même quantité de sorgho, plus de l'arachides et les résidus peuvent être utilisés pour le fourrage » « Avec l'interligne, il y a moins de concurrence, donc chaque culture produit plus »
2. Fertilité du sol	Effet bénéfique des légumineuses sur le sorgho «Le sorgho en association semble plus fort que le sorgho cultivé seul »	Effet bénéfique des légumineuses sur le sorgho « Le niébé fertilise le sol, encore mieux si vous enterrez la biomasse tout en débarrassant le sorgho » « Le soja aide à lutter contre la striga »
3. Flexibilité/ Gestion du risque	Flexibilité limitée en termes de type de sol : «Ça ne peut pas fonctionner sur un bon sol parce que les deux cultures se développeraient trop et il y aurait une concurrence pour la lumière »	Flexibilité limitée en terme de type de sol «Ça ne fonctionnera pas sur un sol trop pauvre : le sorgho ne se développera pas assez vite »
		-Petite fenêtre de semis « Il est important de semer le sorgho au bon moment après le niébé »
4. Valorisation de la production	Améliorer la sécurité alimentaire des ménages « Les agriculteurs qui n'ont qu'une petite surface cultivable font l'association pour obtenir différents produits »	Améliorer la sécurité alimentaire des ménages «Je peux récolter plus de cultures différentes »
5. Gestion du travail	Main-d'œuvre intensive, en particulier pour le désherbage : « Après le semis, on ne peut pas utiliser la traction animale sur le terrain » « Vous ne pouvez pas utiliser d'herbicide sélectif »	Main-d'œuvre intensive, en particulier pour le désherbage : «Le désherbage manuel est plus difficile, parce qu'on risque de détruire la culture la plus fragile »

Table 9 : **ICS Successions intra-annuelles** : évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1, avec les citations entre guillemets en italique (extraits de la table 2c chapitre 1).

Type de critère	Visites commentées PPT 1	Visites commentées PPT 2
1. Productivité/ rendements	Deux récoltes par saison « En semant suffisamment tôt, on peut doubler la production »	Deux récoltes par saison « On peut espérer récolter le grain du maïs en succession »
2. Fertilité du sol	Engrais encore nécessaire pour certaines cultures fourragères « C'est bien, mais il faudra peut-être fertiliser le maïs si c'est la deuxième culture »	Amélioration du sol par la première culture « Le labour permet aussi d'enterrer les résidus de niébé » « Il faut labourer entre les deux cultures pour éviter les mauvaises herbes »

3. Flexibilité/ Gestion du risqué	Contrainte de localisation due au pâturage libre « Pour être capable de semer tôt, il faut avoir une parcelle sur laquelle le bétail ne peut pas entrer »	Flexibilité limitée pour le semis « Ça ne marchera pas si on ne peut pas semer tôt, il faut donc des pluies tôt »
	Deuxième culture polyvalente « Ça peut bien fonctionner si vous semez tôt » « Le sésame est plus résistant au stress hydrique, mais avec le niébé, on a les feuilles pour la soupe »	Deuxième culture polyvalente « Vous pouvez même obtenir deux récoltes de céréales si la pluie dure »
4. Valorisation de la production	Sécurité alimentaire des ménages (niébé rouge) « Comme le niébé rouge est récolté tôt, il peut être utilisé pour nourrir la main d'oeuvre qui récoltent le coton »	Bonne valeur fourragère pour la deuxième culture « on peut récolter la paille, et peut-être des épis de maïs à griller »»
	Bonne valeur fourragère pour la deuxième culture « Le fourrage vert est meilleur que le brun »	
5. Gestion du travail	Travail intensif « C'est intéressant si vous avez une petite ferme, mais il faut avoir de la force »	Travail intensif « Je ne peux pas le faire parce que je n'ai pas assez de temps pour labourer entre les deux cultures »

Table 10 : **ICS Mucuna pur** : évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1 et des PPT2, avec les citations entre guillemets en italique. (extraits de la table 2d chapitre 1).

Type de critère	Visites commentées PPT 1	Visites commentées PPT 2
1. Productivité/ rendements	Rendement élevé « Le Mucuna fait beaucoup de feuilles » « Ça grandit vite »	Rendement élevé « sur un meilleur sol, vous pourriez obtenir plus que ce que vous avez ici »
2. Fertilité du sol	Bon effet précédent « Le Mucuna couvre bien le sol » « Ça va nourrir le sol »	Bon effet précédent « Le Mucuna a un meilleur effet précédent sur le maïs que le soja, l'arachide, le coton et le maïs »
3. Flexibilité/ Gestion du risqué	Production facile de fourrage « C'est une culture qui peut pousser même sur un sol pauvre »	Production facile de fourrage « Il s'est très bien développé pour un sol si peu fertile »
	Risques de perdre les graines « Certains d'entre nous l'ont essayé, mais nous nous sommes arrêtés parce que nous ne pouvions pas trouver de semences »	
4. Valorisation de la production	Fourrage de bonne qualité « C'est un très bon fourrage »	Grains précieux pour l'alimentation des volailles « C'est intéressant s'il est possible d'utiliser les grains pour nourrir la volaille, comment ça se préparer? »
	Pas adapté à la consommation humaine « C'est dommage que les grains ne soient pas mangeables » « Que pouvez-vous faire d'autre avec les grains? »	
5. Gestion du travail	Gestion difficile du séchage et du stockage « C'est beaucoup de travail de récolter, faire des balles et les transporter à la maison »	Gestion difficile du séchage et du stockage « Comment pouvez-vous le sécher si la pluie dure comme cette année? »

Table 11 : **ICS Pois d'Angole pur** : évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1 et des PPT2, avec les citations entre guillemets en italique (extraits de la table 2d chapitre 1).

Type de critère	Visites commentées PPT 1	Visites commentées PPT 2
1. Productivité/ rendements	<p>Faibles rendements céréaliers « <i>Le cycle est trop long, il va être difficile d'obtenir les grains</i> »</p> <p>Polyvalente « <i>C'est bien si les feuilles peuvent être données aux animaux</i> » « <i>C'est bien parce qu'on peut récolter du fourrage ou les pois qu'on peut manger</i> »</p>	<p>Bons rendements de grain de la variété de cycle court « <i>La variété plus courte est vraiment bonne pour obtenir des graines</i> »</p> <p>Production de fourrage élevée sur la variété fourragère « <i>C'est bon pour la production de fourrage, surtout si ça repousse après avoir fauché</i> »</p>
2. Fertilité du sol	<p>Bon effet antérieur pour les céréales « <i>La litière faite des feuilles semble être bonne pour le sol</i> »</p>	<p>Bon effet antérieur pour les céréales « <i>IL a un meilleurs effet précédent sur le maïs que le soja, l'arachide, le coton et le maïs</i> »</p>
3. Flexibilité/ Gestion du risqué	<p>Résistant à la sécheresse « <i>C'est bien si ça résiste à la sécheresse</i> »</p>	<p>Résistant à la sécheresse « <i>On peut obtenir 2 récoltes de fourrage car ça repousse après la fauche et reste vert pendant un certain temps</i> »</p>
4. Valorisation de la production	<p>Risques de perte de production dus au pâturage « <i>Le problème est de savoir comment le protéger du pâturage du bétail pendant la saison sèche</i> » « <i>Il faut donc le cultiver là où il est facile de le protéger du pâturage</i> »</p>	<p>Risques de perte de production dus au pâturage « <i>La variété courte est beaucoup mieux parce qu'on peut récolter le grain avant la vaine pâture</i> »</p>
5. Gestion du travail		

Table 12 : **ICS Mucuna en relai du maïs** : évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1 et des PPT2, avec les citations entre guillemets en italique.

Type de critère	Visites commentées PPT 1	Visites commentées PPT 2
1. Productivité/ rendements	<p>Double production « <i>On aura du maïs et du fourrage</i> » « <i>Mais le Mucuna se développe moins bien en relais que seul</i> »</p>	<p>Double production « <i>On peut récolter maïs et fourrage</i> »</p>
2. Soil fertility		<p>Pas d'effet positif du Mucuna sur la céréale « <i>On ne voit pas l'effet positif du Mucuna sur le maïs</i> »</p>
2. Fertilité du sol	<p>Risque de compétition entre le Mucuna et le maïs « <i>Il faut semer le Mucuna dans le maïs tard pour que cela ne dérange pas le maïs</i> »</p>	<p>Risque de compétition entre le Mucuna et le maïs « <i>Il faut le mettre sur un sol riche pour que le maïs soit bien solide et ne se couche pas sous le Mucuna</i> »</p>
3. Flexibilité/ Gestion du risqué	<p>Production de fourrage « <i>C'est bien car on manque de fourrage</i> »</p>	<p>Production de fourrage « <i>Le bétail va préférer les tiges de maïs mélangées au Mucuna que les tiges de maïs seules</i> »</p>

4. Valorisation de la production	Problème de la disponibilité des semences « On ne trouve pas les semences donc il faut une petite parcelle de Mucuna semée plus tôt pour la semence »	
---	---	--

Table 13 : **ICS association pois d'Angole-maïs** : évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1 et des PPT2, avec les citations entre guillemets en italique.

Type de critère	Visites commentées PPT 1	Visites commentées PPT 2
1. Productivité/ rendements	Production de maïs « On récoltera au moins le maïs »	
2. Soil fertility	Potentiel effet bénéfique du pois d'Angole sur le maïs « Le maïs en association est plus beau qu'en pur » « Si le pois d'Angole permet de lutter contre les adventis, c'est bien ! »	Pas d'effet bénéfique du pois d'Angole sur le maïs « Le pois d'Angole est semé trop tard pour avoir un effet sur la maïs »
3. Flexibilité/ Gestion du risqué		Risque de compétition « Si on sème le pois d'Angole trop tôt, il va faire de l'ombre au maïs mais si on le sème trop tard c'est le maïs qui va lui faire de l'ombre »
4. Valorisation de la production		
5. Gestion du travail	Impossibilité de butter « Avec le pois d'Angole entre les billons de maïs, on ne peut pas butter le maïs, c'est un problème pour gérer les adventis » « En mettant le pois d'Angole en inter poquet on aura moins de maïs mais au moins on pourra butter »	Impossibilité de butter « Mieux vaut semer le pois d'Angole en même temps et sur la même ligne que le maïs et butter »

Les évaluations des systèmes incluant du maïs grain (Table 12 et Table 13) montrent l'importance du maïs pour les producteurs : que ce soit avec du Mucuna ou avec du pois d'Angole, les producteurs expriment de différentes manières que le système n'est intéressant que si la légumineuse ne nuit pas à la bonne gestion (possibilité de butter) ou à la productivité (par effet de compétition) du maïs. Dans ce sens, l'association pois d'Angole a été moins bien évaluée que le Mucuna en relais du maïs. Ce peu d'intérêt pour l'association cajanus - maïs a été confirmé lors du choix d'ICS à tester : ce système n'a été choisi par aucun producteur.

Les critères de choix des ICS pour les FAT1

Pour les 7 options d'ICS qui ont été mis en place par les producteurs, la Table 14 détaille les critères de choix des producteurs pour les ICS mis en place dans les FAT1.

Table 14 : Critères de choix des ICS exprimés par les producteurs en réponse à la question ouverte « pourquoi avez-vous choisi ce système de culture », avec une citation chaque fois que le critère est mentionné par un producteur (chaque producteur peut avoir plusieurs critères donc plusieurs citations). Les cases grisées correspondent aux critères différents des critères d'évaluation formulés lors des visites collectives sur les PPT1 ou 2.

Type de critère	Associations (19 producteurs)	Successions (6 producteurs)	Fourrages		
			Mucuna pur (4 producteurs)	Cajanus Cajan pur (4 producteurs)	Mucuna en relais du maïs (6 producteurs)
1. Productivité/ rendements	Productivité par ha « Je vais mieux utiliser ma superficie en mettant deux cultures sur la même parcelle »	2 récolte par saison « J'espère récolter du maïs, mais sinon j'aurai au moins les tiges comme fourrage » « Je vais récolter deux fois »			
2. Fertilité du sol	Effet bénéfique de la légumineuse sur le sorgho « L'arachide à l'air d'être bon pour le sorgho » « L'arachide aide le sorgho »	Effet bénéfique de la légumineuse sur le sol « Le niébé est bon pour le sol » « Pour enrichir le sol »	Effet bénéfique de la légumineuse sur le sol "J'ai entendu que c'est bon pour le sol, alors je veux voir par moi-même »		Effet bénéfique de la légumineuse sur le sol « Le Mucuna est bon pour le sol »
	Effet bénéfique de la légumineuse sur le sol « C'est bon pour le sol » « L'association va m'aider à restaurer mon sol » « Le soja est bon pour le sol »				
	ICS adapté à la parcelle "j'ai pris le système qui allait le mieux sur la parcelle que j'avais choisi pour l'essai" « Parce que ça conviendra bien à la nature du sol de cette parcelle que je viens de défricher » ; « Parce que je vais le mettre sur un sol pauvre ou il y a du striga » « C'est le seul système que je pouvais mettre sur la parcelle accessible que j'ai de disponible »				
3. Flexibilité/ Gestion du risqué	Moins contraignant que les autres ICS « C'est pas trop contraignant: je n'ai pas besoin d'ajouter d'engrais et je ne peux pas faire la succession car je n'ai pas de bœuf donc je ne peux pas labourer quand je veux »	Multi-usage de la deuxième culture « Même si je ne récolte pas les grains de la deuxième culture, j'aurai du fourrage » « Les feuilles de niébé blanc pourront servir pour l'alimentation de la famille (soupe) ou pour les animaux »			
		Moins contraignant que les autres ICS « Je n'aurai pas besoin d'acheter de l'engrais »			

4. Valorisation de la production	Participe à l'alimentation de la famille <i>« On récolte deux cultures, dont l'arachide qui peut être consommée frais au champ »</i> <i>« Je vais récolter deux cultures »</i> <i>« Pour bénéficier de deux cultures »</i> <i>« La récolte pourra être consommée par la famille »</i> <i>« En plus on peut manger l'arachide frais au champ »</i>	Aide pour la saison de soudure <i>« Le niébé rouge est précoce, ça aidera pour la période de soudure »</i> <i>« Le niébé rouge aidera pour la période de soudure »</i>	Fourrage de bonne qualité <i>« Pour produire du fourrage pour mes 6 bœufs »</i> <i>« Je sais que c'est un très bon fourrage, ce sera pour mes 6 bœufs »</i> <i>« Je veux du fourrage pour mes bœufs de trait »</i>	Fourrage de bonne qualité <i>« Pour produire du fourrage »</i> <i>« Je voulais faire un fourrage, j'essaierai le Mucuna à la prochaine occasion »</i>	Fourrage de bonne qualité <i>« Pour avoir le fourrage pour les animaux et les tiges de maïs. »</i> <i>« Pour faire du fourrage pour mes 10 bovins »</i> <i>« Le maïs est la nourriture principale du ménage et j'aurai aussi du fourrage »</i> <i>« Pour avoir du fourrage pour mes 5 bœufs en plus de maïs pour la famille »</i>
	Possibilité d'utiliser les fanes pour les animaux <i>« Les fanes des deux cultures (sorgho et arachide) peuvent aller aux animaux »</i> <i>« Et en plus on a les fanes pour les animaux »</i>	Deuxième culture ayant une bonne valeur fourragère <i>« J'aurai les tiges de maïs encore vertes pour les animaux »</i>		Participe à l'alimentation de la famille <i>« Plutôt pour produire des pois pour l'alimentation de la famille »</i>	
	Possibilité de vendre les produits <i>« On va transformer et vendre le soja »</i>				
5. Gestion du travail	Demande moins de travail que les autres ICS <i>« Le travail est facile : on peut désherber en traction animale (buttage et sarclo-binage) »</i> <i>« Le sorgho est assez résistant aux mauvaises herbes »</i> <i>« Ce système demande moins de travail que les successions »</i> <i>« Ce système ne demande pas trop de travail par rapport aux autres »</i>			Possibilité de laisser repousser pendant 2 saisons <i>« On le sème une foi et on peut le faucher et ça repousse pendant 2 ans »</i>	
6. En lien avec les apprentissages et connaissances	Espèces cultivées familières <i>« Je connais déjà le sorgho et l'arachide »</i> <i>« J'ai déjà fait du soja »</i> <i>« J'ai fait le même type d'association l'an dernier »</i>	Espèces cultivées familières <i>« J'ai l'habitude de cultiver du niébé »</i> <i>« Je connais bien le niébé »</i>	A déjà testé <i>« J'ai déjà essayé et j'ai trouvé que c'était un très bon fourrage »</i>	A déjà testé <i>« J'ai déjà fait et j'ai bien aimé mais j'ai perdu les semences »</i>	A déjà testé <i>« J'ai déjà fait du Mucuna »</i>
	Motivation liée à la visite des PPT <i>« Les PPT m'ont donné envie d'essayer »</i> <i>« C'est ce que j'ai préféré pendant les visites »</i> <i>« J'ai vu pendant les visites que l'arachide aide le sorgho »</i>		Veut tester un système nouveau <i>« Je n'ai jamais fait de culture uniquement pour l'alimentation des animaux, je veux tester »</i>	Veut tester un système nouveau <i>« Par curiosité: je ne connais pas alors je veux tester »</i>	Veut tester un système nouveau <i>« Je voulais quelque chose de nouveau mais pas trop, et j'ai déjà fait du Mucuna seul »</i>

Les **critères de choix** des ICS (Table 14) ont pu être classés en 6 catégories. Les types de critères 1,2,3,4,5 sont les mêmes que les types de critères utilisés par les producteurs lors des visites commentées (voir chapitre 1 partie Résultats et Table 7). Le nouveau type de critère « En lien avec les apprentissages et connaissances », est lié au niveau de connaissances du producteur sur l'ICS, en lien avec son expérience personnelle ou les activités collectives menées sur les PPT. Par exemple, le choix de l'ICS peut être motivé par le fait que le producteur a l'habitude des espèces de l'ICS (cas des Associations et des Successions), ou parce que le producteur a déjà testé ce type de système et veut recommencer (cas des Fourrages), ou bien parce qu'il veut tester quelque chose de très nouveau (cas des Fourrages). Des producteurs ayant choisi de tester une Association évoquent ce qu'ils ont observé dans les PPT comme raison de leur choix.

On observe de nombreuses discordances entre les critères d'évaluation des visites collectives (Table 8 à Table 13) et les critères de choix des ICS (dans la Table 14), ces discordances sont soulignées par des cases grisées). Certaines différences sont dues à la nature des critères : un critère d'évaluation peut être vu comme une force (critères évalués positivement) ou une faiblesse (critères évalués négativement) de l'ICS, alors que tous les critères de choix de l'ICS à tester donnés par les producteurs se réfèrent à des aspects positifs de l'ICS choisi, ne serait-ce qu'en comparaison avec les autres options. Les critères de choix apparaissent plus diversifiés que les critères d'évaluation positifs des visites collectives : par exemple, les producteurs invoquent, pour les Associations, 11 critères de sélection, contre 4 critères d'évaluation positifs des ICS 1 dans les PPT1, et, pour les Successions, 7 critères de sélection contre 4 critères positifs dans les PPT1.

Les Associations sont les seules ICS à avoir été choisies pour les 6 types de critères, y compris pour le critère 5 « Gestion du travail », qui n'a pas été cité pour les Successions, et par un seul producteur pour les fourrages (pois d'Angole). Or, lors de l'évaluation dans les PPT, le critère « Gestion du travail » était plutôt vu comme une faiblesse des associations, à cause de la difficulté de butter en traction animale (les associations n'ont pas été butées dans les PPT1) et de l'impossibilité d'utiliser un herbicide sélectif. Malgré cela, 3 producteurs (2 de Founzan et 1 de Boni) ont choisi l'association sorgho-arachide, en donnant pour critère de sélection « Gestion du travail ». Ils ont considéré que le sorgho est peu sensible à l'enherbement, que le buttage est possible ou que l'association demande moins de travail que la succession. Ces trois producteurs ont choisi l'association sorgho-arachide en mentionnant la visite des PPT comme source de motivation pour leur choix, ce qui est cohérent avec le fait que lors des visites, les producteurs ont remarqué que le sorgho en association avec l'arachide était mieux développé (plus grand, plus vert) que le sorgho seul. L'association sorgho-arachide est, parmi toutes les options, celle qui a remporté le plus vif succès pour les FAT1 (12 producteurs). Plusieurs producteurs disent avoir choisi ce type d'ICS en fonction de la parcelle sur laquelle ils comptaient faire le test, c'est-à-dire qu'ils ont d'abord choisi la parcelle, puis ont choisi l'ICS qui s'adapterait le mieux sur cette parcelle, notamment selon le type de sol et les risques de pâturage.

Les Successions ont été sélectionnées selon tous les critères sauf celui de la « Gestion du travail », les producteurs considérant que faire deux cultures double la quantité de travail : la plupart des producteurs s'accordent en effet sur l'importance d'effectuer un labour, ou au moins un grattage du sol, entre les deux cultures. Les Successions ont surtout été choisies pour la possibilité d'avoir 2 récoltes avec un risque assez faible, puisque la deuxième culture peut être valorisée pour ses feuilles, ce qui correspond assez bien à l'évaluation faite durant les visites des PPT.

Le type Fourrage est plus hétérogène que les deux autres types d'ICS : il intègre à la fois des options inspirées de la traque aux innovations et des options proposées par la recherche. En outre, une des options, celle du Mucuna pur, est uniquement fourragère alors que les deux autres peuvent également participer à l'alimentation humaine (le maïs pour le Mucuna en relais du maïs, et le pois d'Angole qui peut être récolté pour les graines). Les critères de choix sont plus hétérogènes pour ce type que pour les autres, d'où une présentation séparée des 3 options dans la figure 8. Cependant, des tendances se dégagent pour l'ensemble des trois options fourragères. En effet, les Fourrages ont principalement été sélectionnés pour les critères (i) « Valorisation de la production », c'est-à-dire pour produire facilement un fourrage de bonne qualité (sauf pour un producteur qui a choisi le pois d'Angole pour produire les pois pour l'alimentation de la famille), et (ii) « En lien avec les apprentissages et connaissances » ; le Mucuna et le pois d'Angole étant des espèces peu répandues dans la zone, les producteurs ayant choisi de les tester, que ce soit pour la première fois ou non, sont curieux de voir leur comportement dans leurs parcelles. Le type de critère « Fertilité du sol » a été cité par un seul producteur, qui ne fait pas de la production de fourrage sa priorité, et n'a donc pas évoqué un critère « Valorisation de la production ». Ce producteur a choisi le Mucuna en relais du maïs alors qu'il a très peu d'animaux (1 bovins), mais désire mettre en place une espèce nouvelle, qui pourrait participer à restaurer son sol, tout en ayant une chance d'avoir du maïs pour l'alimentation de la famille. Un producteur ayant déjà testé le pois d'Angole pour le fourrage a décidé de le tester à nouveau car il a compris qu'il s'agit d'une espèce biennale que l'on peut faucher durant 2 ans (type de critère « Gestion du travail ») même si nous ne l'avons pas mis en démonstration ainsi dans les PPT.

Un des critères a été mentionné uniquement par des femmes : une moindre exigence, vis à vis de l'accès aux engrais et à la traction animale (type de critère « Flexibilité/ Gestion du risque ») par rapport aux autres options. Il s'agit de deux femmes n'ayant pas accès aux ressources de l'exploitation. L'une a préféré l'association à la succession, car elle craignait de ne pas pouvoir avoir accès aux bœufs pour le labour suffisamment tôt pour la succession, et l'autre a choisi la succession niébé rouge /niébé blanc car ce système ne demande pas d'engrais, et le niébé rouge, récolté plus tôt que les autres cultures vivrières, peut contribuer à la soudure alimentaire.

En comparant les critères qui président au choix des trois types d'options d'ICS, on constate que, pour les producteurs adoptants, chaque type d'ICS présente des atouts spécifiques. Les différents types d'ICS ont permis, selon les producteurs, de répondre à différentes problématiques, telles que la production de

fourrage pour les bovins (les ICS Fourrages), ou la productivité par ha (les Associations et les Successions). En outre, des producteurs ont souligné que les différents types d'ICS sont adaptés à différentes fertilités de sol : des sols pauvres pour le Mucuna et le pois d'Angole seul, des sols moyennement fertiles pour les associations sorgho-légumineuse, des sols plus riches pour l'association maïs-Mucuna.

2.3.2. Les producteurs choisissent un ICS à tester, selon des critères dépendant peu de leur système d'exploitation

Liens entre les choix des producteurs et leur type d'exploitation

La répartition, dans les types de notre typologie adaptée de celle de Vall et al., (2006) des exploitations pour lesquelles les données Rhomis ont été récoltées est donnée sur la Table 15.

Table 15 : Description des types et sous types de producteurs établis à partir de la typologie proposée par Vall et al., 2006 (Land cultivated : surface cultivée ; cattle : nombre de bovins ; sans TA : sans traction animale)

Types	Sous-types	Land cultivated (ha)	Cattle (nbre de tête)	Nbre de producteurs Boni	Nbre de producteurs Founzan	Nbre de producteurs TOTAL
Agriculteurs	A1	≤14	≤1 (sans TA)	10	10	20
	A2	≤14	2≤X<10	7	10	17
	A3	>14	2≤X<10	4	5	9
Agro-éleveurs	AE	>14	≥10	3	7	10
Éleveurs	E	≤5	≥10	3	4	7

Le type « agriculteurs » correspond aux producteurs ayant moins de 10 têtes de bovins. Parmi eux, on différencie ceux qui ont moins de 2 bovins (A1), c'est-à-dire qui n'ont pas les 2 bœufs nécessaires à la traction animale et qui ont donc des contraintes fortes pour le labour et le buttage: ils sont dépendants de la disponibilité des bœufs d'autres producteurs et ne peuvent pas labourer quand ils le veulent. Aucun d'entre eux n'a plus de 14 ha de terre cultivée. Les producteurs ayant plus de 10 têtes de bovin correspondent soit au type « Agro-éleveurs » pour ceux cultivant plus de 14ha (AE), soit au type « éleveurs » pour ceux cultivant moins de 5ha (E). Parmi les producteurs de notre étude, aucun n'avait plus de 10 têtes de bovin et une superficie cultivée intermédiaire, entre 5 et 14 ha.

On constate une grande disparité dans les surfaces cultivées et les tailles des élevages bovins des 63 exploitations pour lesquelles les enquêtes Rhomis ont été réalisées (Figure 11). Ainsi, d'après les données Rhomis, les surfaces cultivées varient entre 0.25ha et 55ha, et le nombre de bovins entre 0 et 100.

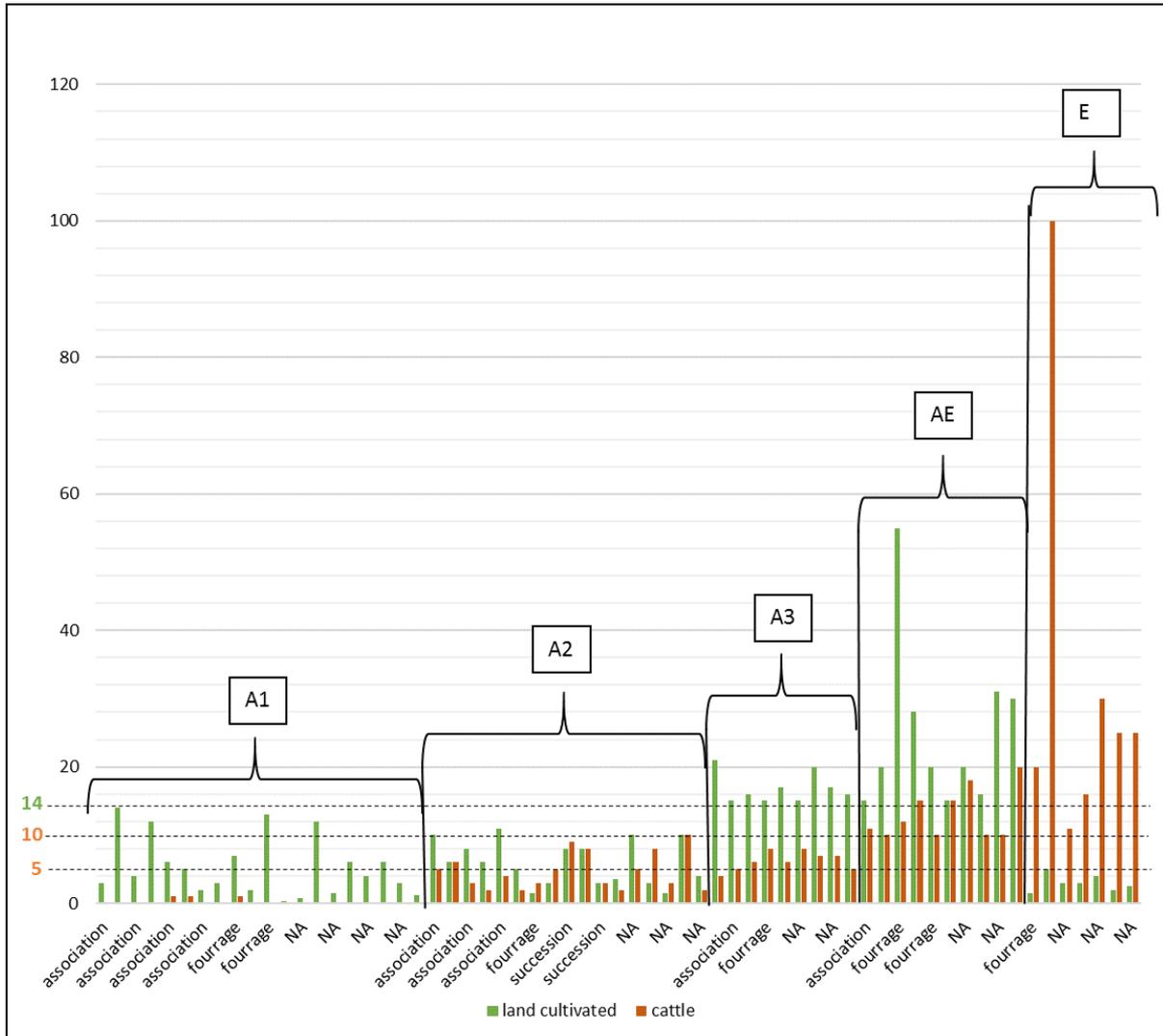


Figure 11 : Histogramme de répartition des exploitations agricoles des producteurs concernés par l'étude avec en ordonnée la superficie cultivée (ha) et le nombre de bovins, et en abscisse le type d'ICS testés dans les FAT 1 ou le choix de ne pas faire de FAT1 (NA). Les valeurs seuils de la typologie pour la superficie cultivée (en vert) et le nombre de bovins (en marron) sont indiqués sur l'axe des ordonnées.

Comme le montre la Figure 12, il y a dans tous les types et sous-types, des producteurs ayant choisi de ne pas mettre en place de FAT, leur proportion varie de 30 à 70 %. On observe une plus forte proportion de producteurs n'ayant pas mis en place d'essai chez les producteurs ayant le plus d'élevage, avec la moitié d'abstention chez les agro-éleveurs et plus de 70% chez les éleveurs. Ce sont les agriculteurs du type A2 qui ont le plus souvent mis en place un FAT1.

On ne retrouve les Successions intra-annuelles seulement chez les petits agriculteurs (A1 et A2), et plutôt chez ceux ayant au moins 2 bovins (A2), donc potentiellement accès à la traction animale. Trois producteurs (15%) déclarant ne pas posséder de bovin (sous type A1) ont choisi un Fourrages : parmi eux un producteur a choisi le Mucuna en relais du maïs et deux ont choisi le pois d'Angole, dont les graines peuvent servir à l'alimentation du ménage. En proportion, on retrouve davantage de producteurs ayant choisi un Fourrage chez les producteurs possédant du bétail que chez les autres. Les producteurs cultivant plus de 14

ha présentent à peu près la même répartition des choix, qu'ils aient moins de 10 têtes de bovins (A3) ou plus de 10 têtes (EA), avec un intérêt marqué pour les systèmes avec Fourrages.

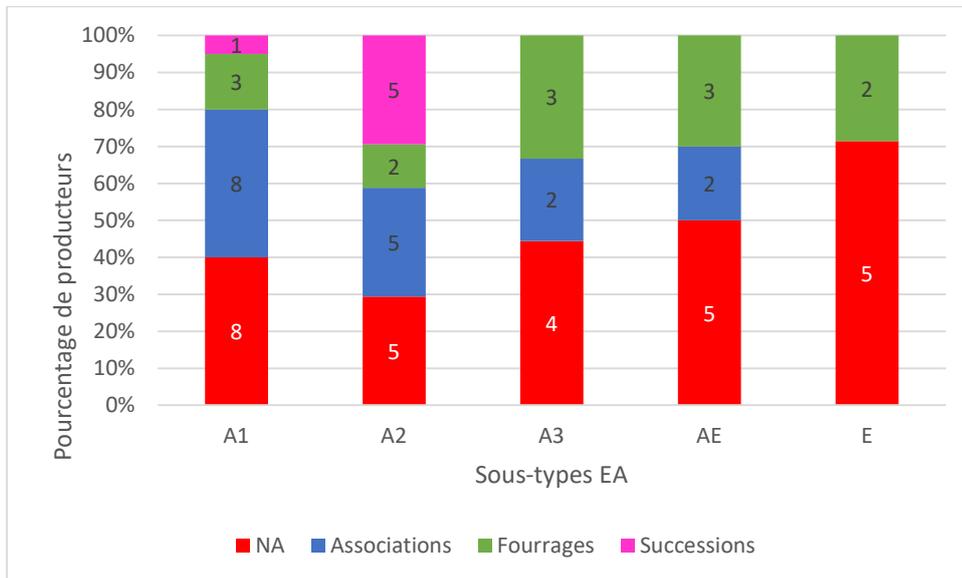


Figure 12 : Distribution en pourcentage des types d'ICS choisis par les producteurs en fonction du sous type d'exploitation agricole (EA) (Table 15) auquel ils appartiennent. Le nombre de producteurs en valeur absolue apparaît sur chaque barre

Par ailleurs, on observe peu de différences de types d'exploitations agricoles entre Boni et Founzan (Table 15), alors que les agro-éleveurs sont plus nombreux à Founzan qu'à Boni. Cette observation est cohérente avec l'analyse statistique discriminante des 16 variables Rhomis sélectionnées selon le village d'appartenance qui ne montre pas de différence au seuil de significativité 0.05 (test de Wilcoxon pour les variables quantitatives; test du khi2 quand $n > 5$ et test exact de Fisher quand $n < 5$ pour les variables qualitatives).

Liens statistiques entre la mise en place ou non d'un FAT 1 et les caractéristiques des exploitations.

Les producteurs intéressés par les PPT et la mise en expérimentation ont des systèmes de productions très variés. Le choix de mettre en place ou non un FAT ne semble pas lié aux 8 variables quantitatives de l'enquête Rhomis : aucune des variables considérées ne discrimine de manière significative au seuil de 0.05 le choix des paysans de mettre en place un FAT ou non (test de Wilcoxon) (Figure 13).

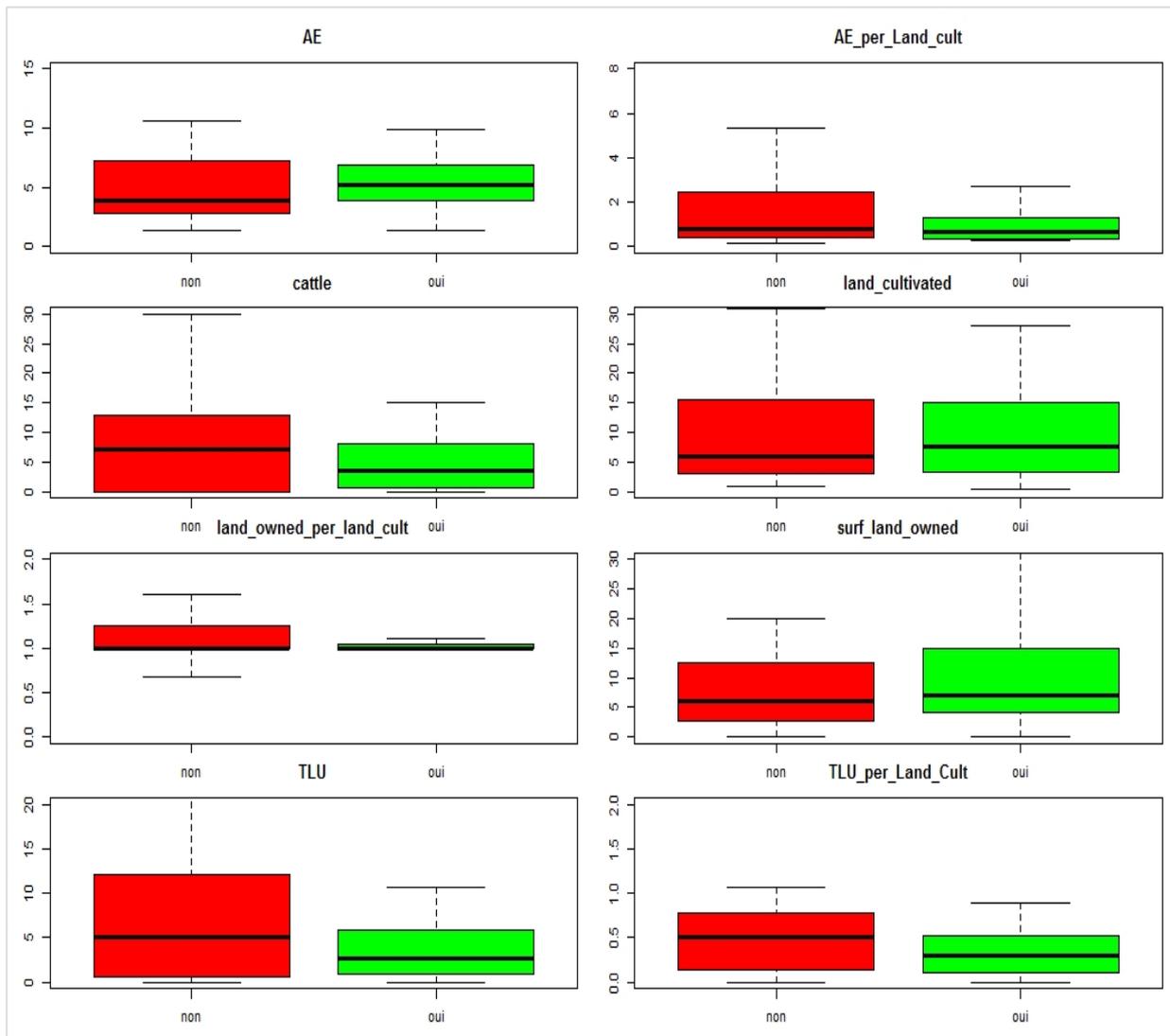


Figure 13 : Diagrammes en boîte (Box plot) représentant les 2 modalités de la variable « mise en place d'un FAT1 » : oui à droite en vert et non à gauche en rouge de chaque diagramme, en fonction des 8 variables quantitatives Rhomis sélectionnées (le nom de la variable est indiquée au-dessus du diagramme correspondant). Les résultats ont été obtenus avec un test de Wilcoxon. La ligne foncée à l'intérieur de chaque boîte représente la médiane, et les bords du rectangle correspondent aux quartiles. (Réalisation : David Berre)

De même, le choix de mettre en place ou non un FAT ne semble pas lié aux 7 variables qualitatives oui/non de l'enquête Rhomis : aucune des variables considérées ne discrimine de manière significative au seuil de 0.05 le choix des paysans de mettre en place un FAT ou non (test du khi2 quand $n > 5$ et test exact de Fisher quand $n < 5$).

En outre, le modèle linéaire généralisé montre un lien positif significatif ($P\text{value} > 0.05$) entre la mise en place d'un essai et la location d'une terre (variable « rent_in_land » modalité oui) et un lien négatif significatif entre l'emploi de main d'œuvre (variable « hire_labour » modalité oui) (résultats non illustrés). Les producteurs mettant en place un FAT 1 semblent davantage que les autres louer des terres, et moins employer de main d'œuvre. Ces producteurs auraient une contrainte forte au niveau de leur superficie cultivée, mais une contrainte faible au niveau de la main d'œuvre.

Liens statistiques entre les ICS sélectionnés et les caractéristiques des exploitations.

Le nombre d'adultes équivalents par hectare cultivé (AE_per_Land_cult) est la seule des variables quantitatives Rhomis considérées qui discrimine les choix du type d'ICS mis en place dans les FAT1, avec une différence significative au seuil de 0.05 entre les Associations et les Successions (test de Wilcoxon) (Figure 14). Les producteurs testant une Succession semblent avoir un nombre d'adultes équivalents par hectare cultivé plus élevé que ceux testant les Associations : un nombre élevé d'adultes par hectare signifie généralement une pression foncière plus forte, mais également une meilleure disponibilité de main d'œuvre par hectare, ce qui leur facilite l'adoption d'une stratégie coûteuse en temps de travail.

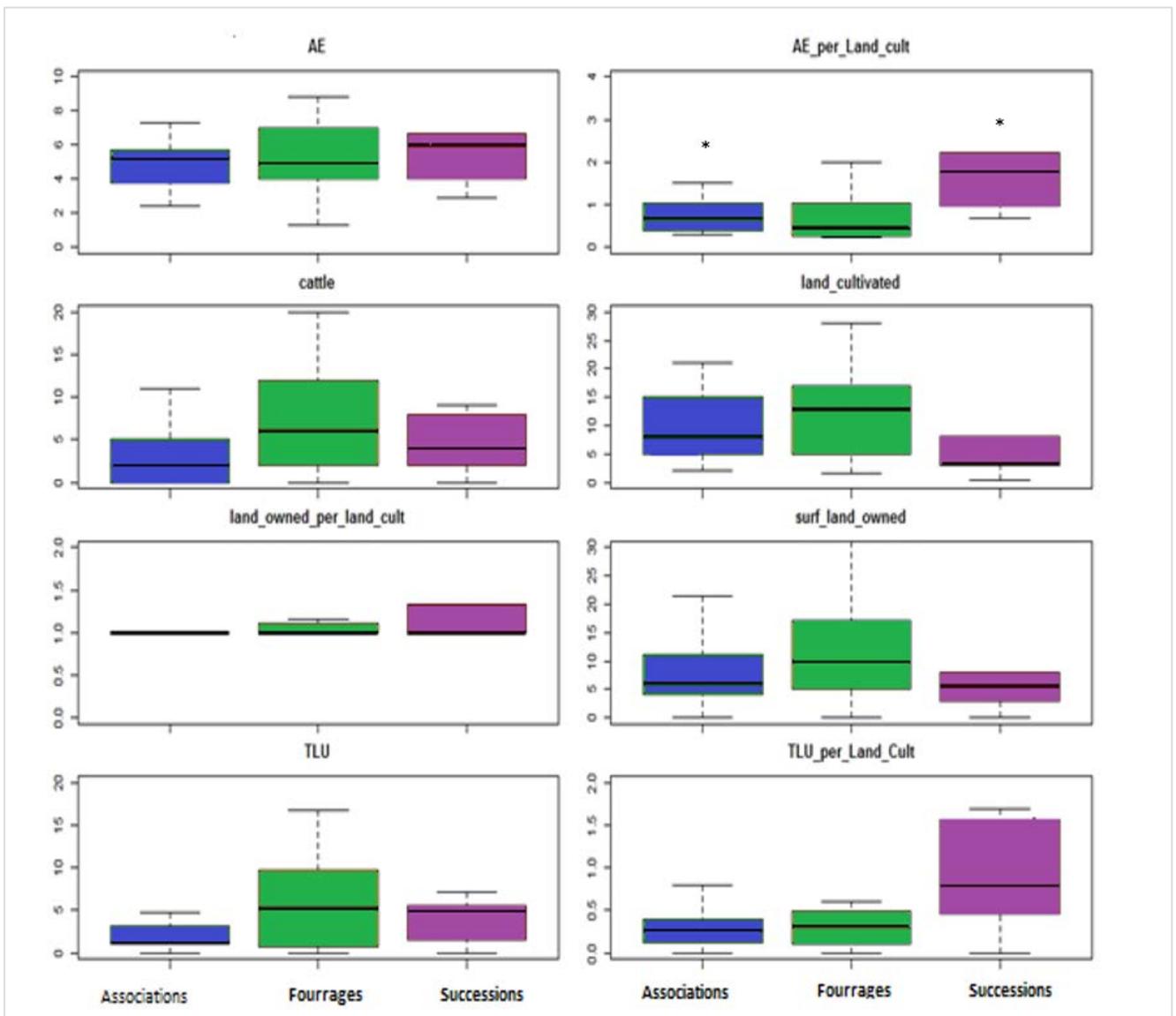


Figure 14 : Diagrammes en boîte (Box plot) représentant les 3 modalités de la variable « type de ICS mis en place » : Associations en bleu, Fourrages en vert et Successions en mauve, en fonction des 8 variables quantitatives Rhomis sélectionnées (le nom de la variable est indiquée au-dessus du diagramme correspondant). Les résultats ont été obtenus par un test de Wilcoxon. La ligne foncée à l'intérieur de chaque boîte représente la médiane, et les bords du rectangle correspondent aux quartiles. Les différences significatives sont indiquées par un * (Réalisation : David Berre)

Quant aux variables qualitatives, le choix du type d'ICS (Association, Fourrage ou Succession) ne semble lié à aucune des 7 variables qualitatives oui/non de l'enquête Rhomis (off_farm_inc ; hire_labor ; rent_in_land ; cotton ; maize ; legumes ; debts_have) : aucune des variables considérées ne discrimine de manière significative au seuil de 0.05 le choix du type d'ICS (test du khi2 quand $n > 5$ et test exact de Fisher quand $n < 5$) (résultats non illustrés).

2.3.3. L'évolution des choix des producteurs entre la première et la deuxième année d'essais, et les critères sous-jacents

Les choix des producteurs pour les FAT2

La Figure 15 représente les évolutions dans les choix par type de SCI : Parmi les 39 producteurs ayant mis en place un FAT 1, 20 producteurs ont choisi de continuer le même type d'ICS sur leur FAT 2 (dont 4 changeant d'ICS au sein du même type), et 14 ont choisi un autre type d'ICS pour leur FAT 2 (ce qui fait un total de 18 producteurs qui changent d'ICS au sein ou non du même type). Les 5 restants n'ont pas mis en place de FAT 2 (« arrêt »).

Parmi les producteurs changeant d'ICS pour leur FAT2, 4 ont poursuivi l'ICS du FAT1, sur une de leurs parcelles, par leurs propres moyens.

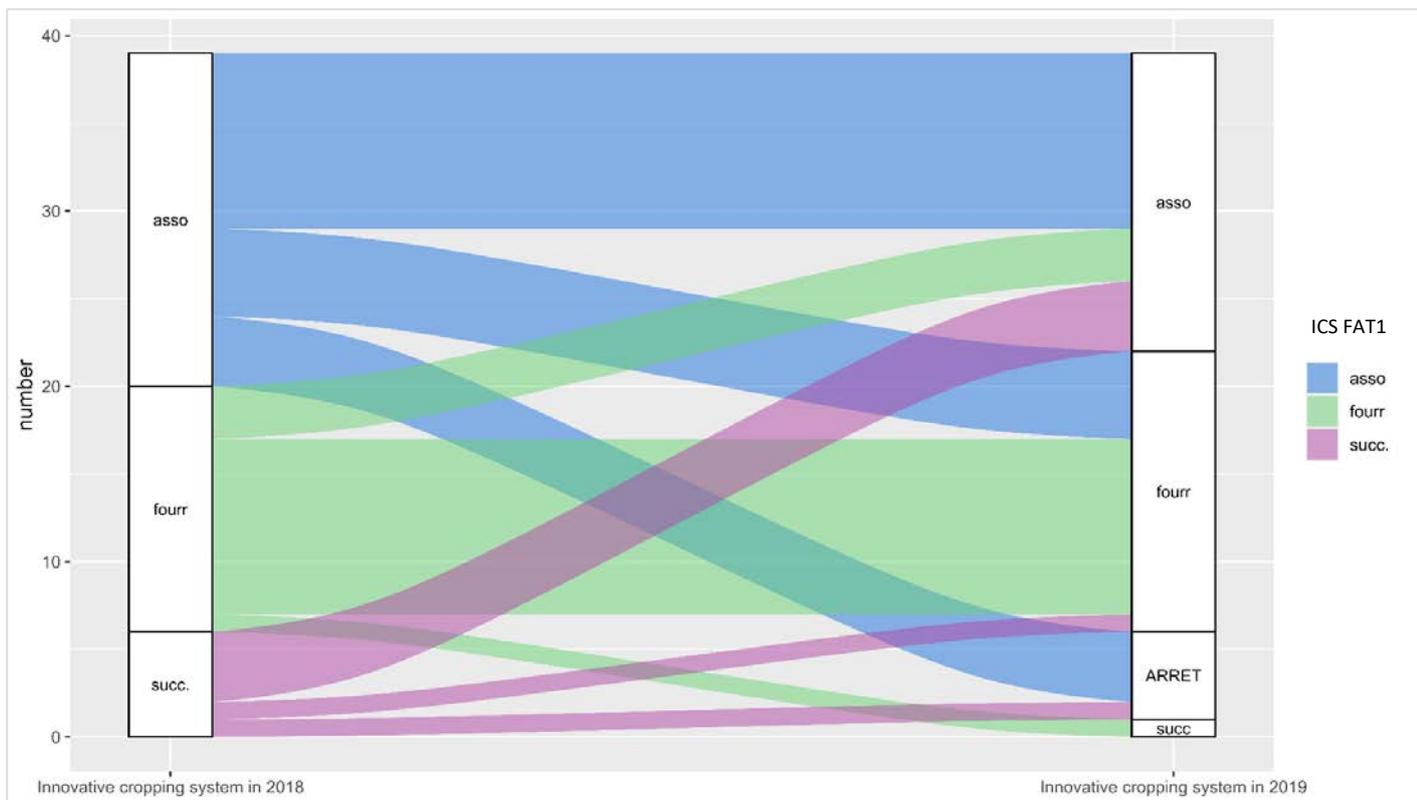


Figure 15 : Evolution des choix des producteurs entre leur FAT1 (ICS 2018 à gauche) and leur FAT2 (ICS 2019 à droite), avec en ordonnées le nombre de producteurs concernés (number); succ. pour le type Successions ; four. pour le type Fourrages ; asso pour le type Associations (Réalisation : David Berre)

Les explications des producteurs quant à ces évolutions de choix

Différents éléments émis par les producteurs lors des entretiens individuels et des visites des PPT participent à expliquer cette évolution des choix des producteurs entre les FAT 1 et les FAT2 :

Tous les producteurs ayant testé une Succession ont changé de système (5 producteurs sur 6), ou abandonné l'essai (1 producteur). Les producteurs considèrent que le labour entre les deux cultures est indispensable afin d'éviter l'envahissement de la seconde culture par les mauvaises herbes (avis exprimés lors des entretiens individuels et lors des visites des PPT1 et 2) : il s'agit pour eux d'une contrainte importante. En outre, une difficulté rencontrée sur les FAT1 est que les semences de niébé rouge ont présenté un taux de levée anormalement faible, probablement à cause d'un taux de germination défaillant sur ce lot de semences. Ces producteurs ont dû semer de nouveau, ce qui a retardé la récolte du niébé rouge, et donc le semis de la deuxième culture, qui n'a pas eu le temps de suffisamment se développer pour pouvoir être valorisée. La plupart des producteurs ayant testé les Successions intra-annuelles se sont tournés en deuxième année vers les associations sorgho-légumineuses, qui, de leur point de vue, présentent le même avantage de permettre la récolte de deux cultures sur la même parcelle, mais ne demandent qu'une seule installation.

La moitié de ceux qui ont testé une Association ont changé de système : Alors que 6 des 7 producteurs ayant testé sorgho-soja ont maintenu ce choix en seconde année, seuls 3 des 12 producteurs ayant mis en place l'association sorgho-arachide ont persisté dans ce choix. Une agricultrice ayant mis en place l'association sorgho-arachide, a changé pour sorgho-soja, tout en continuant l'association sorgho-arachide avec ses propres semences. Quatre des cinq producteurs ne mettant pas en place de FAT 2 ont testé l'association sorgho-arachide sur leur FAT1. La principale raison avancée pour l'arrêt du test est la perte d'une parcelle ou une réduction de main d'œuvre. Concernant l'association sorgho-arachide, une faiblesse rapportée par plusieurs producteurs abandonnant ce système est la difficulté de trouver une parcelle adaptée à la fois au sorgho (sols plutôt argileux avec une réserve en eau moyenne à forte) et à l'arachide (sol plutôt sableux pour faciliter le développement des gousses et la récolte) (cf. détails dans le chapitre 3).

La plupart des producteurs ayant testé un Fourrage reconduisent le système testé la première année : il s'agit principalement du Mucuna semé en relais dans le maïs (5 producteurs sur 6 l'ayant testé en année 1 continuent). Ceux ayant testé le Mucuna pur en année 1 ont tendance à changer de système (3 producteurs sur 4, dont 2 pour un autre Fourrage). Tous les producteurs ayant cultivé du Mucuna les 2 années ont semé en année 2 des semences de Mucuna récoltées en année 1. De manière analogue, un producteur ayant testé le pois d'Angole en année 1 a semé en année 2 les semences récoltées, tout en testant un autre ICS (une Association).

Le rôle des visites des PPT 2

Ce succès des légumineuses fourragères peut avoir un lien avec celui qu'elles ont rencontré lors de l'évaluation des différents effets précédents lors des visites des PPT2, qui se sont déroulées en parallèle des FAT1. Les producteurs y ont eu l'occasion de comparer visuellement un maïs après du Mucuna, du pois d'Angole, du niébé et du maïs. Parmi ces précédents, seul le maïs avait été fertilisé. Tous étaient d'accord que le Mucuna et le pois d'Angole constituaient les meilleurs précédents pour le maïs (avec un débat sur lequel des deux est le plus intéressant comme précédent, notamment en référence à l'effet des 2 légumineuses sur les adventices). En outre, durant ces visites sur les PPT2, deux variétés de pois d'Angole ont été mises en démonstration (Figure 9) : la même variété que celle proposée aux producteurs (variété de l'INERA), et une variété de cycle plus court, fournie par l'ICRISAT. La variété de l'ICRISAT a rencontré un vif succès auprès des producteurs, car il est possible de produire des grains durant la saison de culture, avec une production de biomasse peu inférieure à celle de l'autre variété. Un producteur a souligné que la variété de l'INERA est meilleure pour la production de fourrage, et celle de l'ICRISAT pour la production de pois (il s'agit du seul producteur ayant testé le pois d'Angole sur son FAT1 et son FAT2). De nombreux producteurs ont émis le souhait de tester cette variété à cycle court ; malheureusement, nous n'avons pas récolté suffisamment de semence pour pouvoir en distribuer.

Concernant les effets précédents, les effets des différents précédents (soja, arachide, sorgho, maïs fertilisé) sur le coton étaient beaucoup moins remarquables que ceux sur le maïs (Mucuna, pois d'Angole, niébé et maïs fertilisé), et n'ont pas donné lieu à des commentaires.



Figure 16 : Pois d'Angole du PPT2 de Boni, avec à gauche la variété de l'ICRISAT et à droite la variété de l'INERA, octobre 2018 (photo : Anne Périnelle)

Les visites des PPT2 ont pu contribuer aux choix des producteurs pour les FAT2 par les échanges entre producteurs qu'elles ont suscités, mais aussi par les retours d'expériences des FAT1 qu'elles ont permises. Durant ces visites, tous les producteurs présents ont rapidement décrit le système de culture qu'ils étaient en train de tester sur leur FAT 1, en comparaison au ICS correspondant du PPT 2. Certains producteurs ont ajouté :

- un élément explicatif de ces différences : Par exemple « Mon Mucuna seul est mieux développé que celui-ci (celui du PPT2), mais je pense que c'est parce que ma parcelle est plus fertile, comme je suis éleveur, j'ai beaucoup de fumier. Mais votre Mucuna n'est pas mal. »

- une proposition d'amélioration pour le système du PPT : Par exemple « Ma succession marche plutôt bien, je commence à avoir des épis sur le maïs, que j'ai semé après avoir récolté le niébé rouge et effectué un scarifiage avec un corps butteur. Sur votre essai, le sol est pauvre, c'est pour cela que ça n'a pas marché. Un scarifiage entre les deux cultures, je pense que ça aiderait »

- une idée d'amélioration de son propre système : Par exemple « Moi j'ai déjà des fleurs et quelques gousses de Mucuna sur mon essai, j'ai semé avant vous. Mais je ne fauche pas le Mucuna même s'il est prêt, car il pleut encore et je ne pourrai pas le faire sécher. En fait ça aurait été plus facile que je sème un peu plus tard comme vous ». Ce producteur refera le même ICS l'année suivante en FAT2, en semant son Mucuna seul, 16 jours plus tard que sur son FAT 1.

Liens entre les évolutions de choix et le type d'exploitation agricole

La Figure 17 montre la distribution de ces évolutions (abandon de l'essai, changement de type d'ICS ou continuation du même type d'ICS) selon le sous-type d'exploitation agricole (Table 15) auquel il appartient. Les petits agriculteurs (A1 et A2) sont ceux qui continuent le plus souvent l'essai, tout comme ils étaient ceux à mettre le plus souvent en place un FAT1 (Figure 12). De même, les éleveurs sont ceux qui proportionnellement se désengagent le plus (Figure 17) : c'était également le groupe dans lequel on retrouvait le plus de producteurs s'abstenant de mettre en place un FAT (Figure 12).

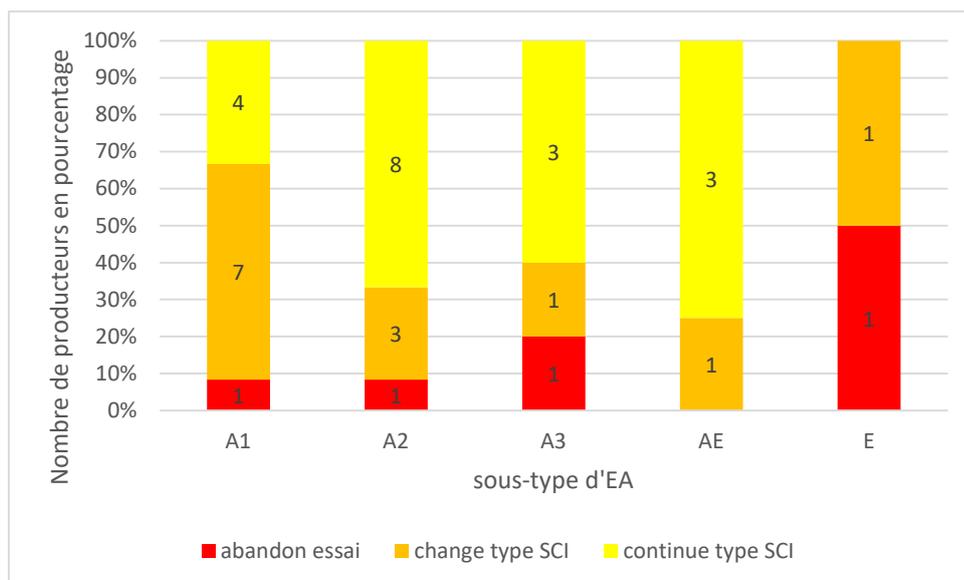


Figure 17 : Distribution en pourcentage des changements d'ICS entre les FAT1 et les FAT2 (abandon de l'essai en rouge, change de type d'ICS en orange, continue le même type d'ICS en jaune) en fonction du sous type d'exploitation agricole (EA) auquel ils appartiennent, pour les 35 producteurs ayant mis en place un FAT1 et ayant répondu au questionnaire Rhomis. Le nombre de producteurs en valeur absolue apparaît sur chaque barre.

Les différences d'évolution des choix entre Boni et Founzan

La Figure 18 révèle quelques différences entre les deux villages dans les choix des ICS mis en place en année 1 (FAT1), avec une proportion légèrement plus importante du type « Succession » à Boni et une proportion légèrement plus importante d'Associations à Founzan. Cependant, c'est dans l'évolution des choix entre les FAT 1 et les FAT 2 que les différences deviennent importantes : les Fourrages représentent 80 % des FAT 2 de Boni alors qu'ils ne représentent que 25 % des FAT2 de Founzan, et les Successions représentent seulement 15% des FAT 2 de Boni mais 65% des FAT 2 de Founzan.

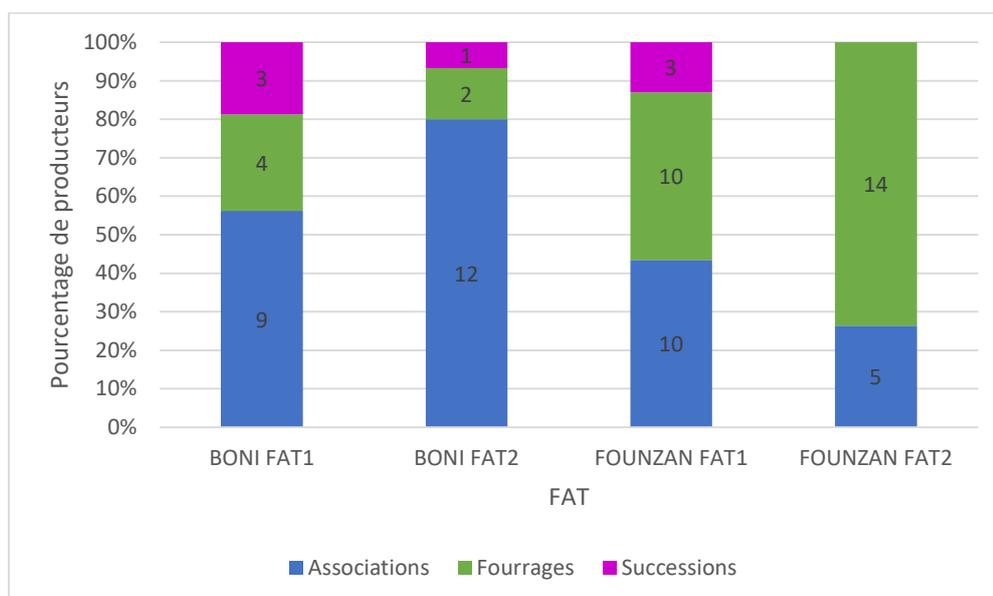


Figure 18 : Distribution en pourcentage des type d'ICS choisis par les producteurs en fonction du FAT (année et village) sur lequel le ICS a été mis en place.

Parmi les Fourrages, le pois d'Angole a eu davantage de succès à Founzan qu'à Boni. Le seul producteur de Boni l'ayant testé en 2018 a changé de système en 2019, alors que sur les 3 producteurs de Founzan, 1 continue le même système, 1 autre teste un nouveau système tout en continuant le pois d'Angole, et un troisième change de Système. En outre, 3 autres producteurs de Founzan changent de système après le FAT1 pour tester le pois d'Angole sur le FAT2. A Founzan, les producteurs ayant testé le pois d'Angole sur les FAT 1 ont fait part de leur satisfaction par rapport à cette culture lors des ateliers bilan des FAT1 (« on peut produire beaucoup de fourrage pour les petits ruminants », « les bovins ne s'y intéressent pas trop, il n'y a pas forcément besoin de protéger pour avoir les grains » « On peut l'utiliser comme haie vive, près de la maison pour pouvoir surveiller un peu »), ce qui n'a pas été le cas à Boni.

2.4. Discussion

2.4.1. Des producteurs diversifiés

Notre échantillon d'exploitations est d'une grande diversité

Nous avons cherché à avoir un groupe le plus diversifié possible. D'après Phillips et al., 2014, il existe trois façons de cibler l'action auprès des producteurs : (i) le ciblage ouvert à tous, (ii) le ciblage par le biais d'un processus de sélection, avec des critères établis auxquels les bénéficiaires doivent répondre, ou (iii) le ciblage par l'identification d'un groupe cible, par exemple selon le type d'exploitation, comme cela est souvent fait par les projets de développement. Nous avons choisi un ciblage ouvert (toutes les activités étaient ouvertes à tous les producteurs intéressés) plutôt que de cibler une ou des catégories spécifiques de producteurs. Nous avons ainsi réussi à mobiliser des collectifs très hétérogènes dans chaque village, avec des producteurs cultivant des superficies et ayant des moyens de production très variables, ainsi que des producteurs pour lesquels l'activité principale est l'élevage. Les femmes, qui en général ont un accès très limité aux moyens de production, étaient également représentées.

Cette diversité n'est pas complètement représentative

Notre échantillon reste dépendant de la manière dont nous avons « mobilisé » les producteurs. Il y a tout de même eu une sélection selon la motivation des producteurs (nous les avons invités à chaque activité sans insister pour qu'ils reviennent), et en raison de la méthode utilisée (via le réseau de la personne contact). De ce fait, certains producteurs se sont vus exclus : c'est notamment le cas des producteurs isolés physiquement ou en marge de la communauté. Par exemple, relativement peu d'éleveurs Peulh ont participé aux activités, et ceux qui y ont participé au début ont eu tendance à se désengager (en ne mettant pas en place de FAT 1 ou de FAT2). Les producteurs ayant des moyens de production trop faibles pour la mise en place d'un essai se sont également vus exclus des FAT, comme c'est le cas pour la plupart des femmes qui avaient participé aux activités collectives, mais qui n'avaient pas accès à une parcelle (seules 3 femmes ont

mis en place un FAT sur les 9 ayant participé aux « field days »). Phillips et al., 2014 soulignent que les individus les plus pauvres ou marginalisés, et notamment les femmes sont souvent exclus des activités de développement rural (en l'occurrence des champs-école), mis à part lorsqu'ils sont spécifiquement ciblés et que les activités leur sont adaptées. Même les femmes ayant un accès aux moyens de production équivalents aux hommes risquent d'être davantage exclues que ces derniers (Ragasa et al., 2013). Ainsi, dans notre cas, pour être davantage inclusifs, il serait nécessaire de travailler sur les leviers facilitant la participation des producteurs vulnérables, par exemple en leur facilitant l'accès aux ressources nécessaires (terre, traction animale, main d'œuvre). Cela n'a pas été fait par manque de moyen, mais également parce qu'agir sur l'accès aux ressources ou le système sociotechnique ne faisait pas partie de nos objectifs.

Nous avons un **échantillon diversifié mais non représentatif de la population générale des producteurs** de la zone, comme nous l'avons montré dans le chapitre 1 (cf Figure 7 et Figure 8 chapitre 1), en comparant la superficie cultivée et le nombre de bovins pour les producteurs ayant participé à au moins une activité collective « field-day farmers » et pour 299 exploitations échantillonnées au hasard dans la zone. Il arrive souvent que, dans les démarches de recherche-action participative, les chercheurs choisissent les acteurs avec lesquels ils travaillent, de manière à avoir une certaine représentativité de la zone d'étude, avec pour objectif de pouvoir extrapoler leurs résultats à des situations présentant des caractéristiques similaires (Faure et al., 2010a). Cependant, nous n'avons pas fait ce choix en priorisant la motivation des producteurs comme condition principale à leur participation, ce qui nous a aidé à répondre à nos objectifs de collaboration avec les producteurs.

Liens entre les types d'exploitations et les choix d'ICS par les producteurs

Il existe différents types de typologies d'exploitation selon ce que l'on cherche à représenter. Les "**typologies structurelles**" sont basées sur les caractéristiques socio-économiques, productives (terre-travail-capital), ou environnementales des systèmes agricoles, alors que les « **typologies fonctionnelles** » sont basées sur le fonctionnement du système et cherchent à prendre en compte la prise de décision des producteurs (Tittonell et al., 2020). Les typologies fonctionnelles peuvent être utilisées pour des objectifs variés, notamment pour guider la décision du producteur en fonction de ses contraintes, de ses opportunités et des moteurs du changement (Tittonell et al., 2020), ou pour ajuster des interventions, par exemple en permettant d'identifier des opportunités appropriées à un type d'exploitation (Alvarez et al., 2018). Les typologies fonctionnelles peuvent être établies selon des critères très variés, dépendant des objectifs de l'étude, tels que les trajectoires des exploitations (Cochet, 2015), ou leurs pratiques d'utilisation du territoire (Girard, 2013).

Nous avons cherché **les liens entre les caractéristiques des exploitations agricoles et les choix des producteurs** (mise en place d'un essai ou non, et choix de l'ICS mis en place) de deux manières distinctes mais utilisant les mêmes données (données des entretiens Rhomis) : (i) par l'établissement d'une typologie fonctionnelle à dire d'expert, basée sur la superficie cultivée et le nombre de têtes de bovins de l'exploitation,

adaptée d'une typologie établie dans la même zone d'étude (Vall et al., 2006 reprise par Andrieu et al., 2015 et par Vall et al., 2017) ; et (ii) par une analyse statistique des liens entre les choix des producteurs et différentes caractéristiques structurelles des exploitations classiquement utilisées pour ce type d'analyses. Berre et al. (2019) montrent la complémentarité entre les deux approches : dans l'approche fonctionnelle à dire d'expert, les types d'exploitations sont classiquement construits en fonction d'un objectif final, alors que les typologies basées sur des analyses statistiques ont généralement pour objectif d'extraire des types à partir d'un grand nombre de données dans un processus supposé plus reproductible et moins subjectif qu'à dire d'experts. L'approche fonctionnelle à dire d'expert est plus explicative, mais présente un risque de biais sur les aspects mal connus des experts (Landais, 1996).

Notre typologie fonctionnelle nous apporte davantage d'éléments sur les liens entre les caractéristiques des exploitations et les choix d'ICS des producteurs que l'analyse statistique structurelle, même si l'on retrouve à peu près toutes les options pour chaque type de producteurs. Ainsi, les critères sur lesquels est basée la typologie de Vall et al. (2006), qui avait pour objectif de travailler sur l'intégration agriculture-élevage, nous ont permis de construire des types cohérents pour notre objectif d'analyse des choix des producteurs. Cela plaide pour un lien entre ces choix d'ICS des producteurs et le niveau d'intégration agriculture élevage des producteurs. Nous avons en effet constaté que l'accès à la traction animale pour la préparation du sol a fait partie des critères de choix, tout comme le besoin en fourrages pour les bovins. La typologie révèle également la tendance des éleveurs à se désengager davantage que les autres (Sur 7 éleveurs, seuls 2 mettent en place un FAT1 et 1 seul un FAT2). Ce désengagement peut être en partie lié au fait que les éleveurs peulhs sont souvent marginalisés par rapport à la communauté et ont un accès plus limité aux ressources (notamment concernant le foncier) (Koudougou et al., 2017). Cette marginalisation a pu également conduire à une inclusion plus faible dans le collectif de producteurs participant aux activités sur les PPT, ce qui ne les aurait pas encouragés à continuer.

En revanche l'analyse statistique des 16 variables Rhomis est peu concluante : nos résultats ne montrent pas de lien clair entre les caractéristiques des exploitations agricoles et la mise en place ou non d'un essai, ce qui va dans le sens de certaines études telle celle de Sumberg et al., 2003 qui ne trouve pas dans ses travaux de caractéristiques spécifiques aux agriculteurs expérimentateurs. Cependant, de nombreuses études portant sur les liens entre mise en œuvre de pratiques et type d'exploitations sont plus affirmatives. C'est par exemple le cas de celle de (Ronner et al., 2017) qui identifie différents déterminants à l'adoption des pratiques culturelles proposées, dont notamment la taille de l'exploitation. Dans notre cas, le fait de ne pas avoir trouvé de lien clair entre les choix des producteurs et les variables Rhomis sélectionnées peut venir de l'absence de lien, mais peut aussi en partie être dû à ce que ces données étaient basées sur les déclarations des interviewés, et pouvaient donc être biaisées. Ce biais peut souvent être compensé par la quantité des données disponibles (Fraval et al., 2019), ce qui n'est pas forcément le cas dans notre étude, avec seulement 66 enquêtes.

Finalement, **les caractéristiques des exploitations et les types d'exploitations expliquent assez peu les choix des producteurs** relatifs à la mise en place de leurs FAT. En outre, la pertinence d'analyser les liens entre les caractéristiques de l'ensemble de l'exploitation et les choix faits par d'autres membres que le chef d'exploitation est discutable. En effet, en général, les femmes et les jeunes, n'ont de pouvoir de décision que sur leur parcelle propre (Gafsi, 2007). Ils ont généralement une connaissance limitée du fonctionnement de l'ensemble de l'exploitation et ne prennent pas leurs décisions en fonction de l'exploitation mais en fonction de leur propre accès aux ressources de l'exploitation (parcelle, main d'œuvre, traction animale), qui est plus restreint que celui du chef d'exploitation.

2.4.2. Des critères de choix des ICS de nature variée

Des critères mûris lors des visites sur les PPT

Entre les visites commentées des PPT1 et le choix d'un ICS à tester, **de nouveaux critères d'évaluation des systèmes de culture apparaissent**, tels que des critères en lien avec les apprentissages réalisés lors d'activités collectives sur les PPT, ou lors d'expériences individuelles antérieures, et des critères préexistants qui sont évalués différemment. Par exemple, lors des visites collectives, le travail était plutôt vu comme une difficulté pour les Associations, alors que, dans le choix conduisant aux FAT, plusieurs producteurs soulignent que les Associations demandent moins de travail que les Successions. Cette évolution de l'appréciation des producteurs entre l'évaluation sur les PPT et le choix de l'ICS à mettre en place, est due en partie à des objectifs différents : un simple avis dans les PPT et un choix tactique pour le FAT1 (McCown, 2002). Mais surtout, cette évolution souligne que les activités collectives ont permis aux producteurs de mûrir leurs critères, par l'observation des systèmes en démonstration, et par les échanges entre pairs et avec les agronomes (Chantre, 2013). Les apprentissages qui ont eu lieu lors des visites sur les PPT1 ont joué un rôle important dans le choix de l'ICS pour le FAT1, et les apprentissages réalisés sur les PPT2 et les FAT1 ont été déterminants dans les choix pour le FAT2. Les apprentissages permis par les visites collectives ont été d'autant plus intenses sur les PPT2, qu'une plus grande diversité de systèmes était mise en débat et que les producteurs pouvaient partager leurs retours d'expériences de leurs FAT1, mis en place en parallèles des PPT2. En effet, les apprentissages des producteurs se font par l'expérimentation, qu'elle soit formalisée ou non, mais aussi par le biais de discussions avec d'autres personnes (Darnhofer et al., 2010). Les échanges entre pairs sont reconnus pour avoir un impact sur la perception des producteurs, les apprentissages étant liés à la diversité des points de vue (Navarrete et al., 2018). Cependant, ces échanges et les apprentissages permis par des activités collectives telles que celles que nous avons organisées, sont difficiles à suivre et à évaluer de manière précise, notamment concernant leur effet réel en termes de changement de pratiques (Aare et al., 2020) .

Certains producteurs ont ainsi choisi un ICS selon le degré de connaissance qu'ils en avaient. Certains producteurs ont choisi un système parce qu'ils avaient déjà pratiqué un système qui lui ressemblait ou parce

que les espèces cultivées leur étaient familières. Ces antécédents leur ont permis de mobiliser le minimum de connaissances situées nécessaires à son appropriation (Toffolini et al., 2017). La progressivité des changements, ainsi que l'existence d'antécédents dans les trajectoires des agriculteurs, font partie des facteurs de réussite du changement (Lamine, 2011).

Des critères spécifiques à chaque producteur

Deux producteurs peuvent choisir le même ICS pour des raisons différentes. Les espèces de légumineuses proposées peuvent rendre de multiples services (Bossuet and Vadez, 2013). Par exemple, le pois d'Angole est un excellent précédent du maïs et peut être fauché pour le fourrage ou récolté à maturité pour les graines qui participeront alors à la diversification de l'alimentation du ménage ; le Mucuna peut être cultivé sur des sols très pauvres dont il contribuera à restaurer la fertilité, et constitue un fourrage de qualité : les Associations permettent deux récoltes à deux moments différents, demandent peu d'investissement en engrais, et reposent sur des espèces connues des producteurs. Ces différents services rendus par les espèces proposées sont à regarder système de culture par système de culture. Le regroupement des ICS, que nous avons réalisé pour l'analyse statistique, ne fonctionne pas pour la compréhension fine des critères des producteurs.

Les critères de producteurs sont de nature variée, par les visites sur les PPT puis des entretiens individuels, nous avons principalement fait émerger des critères agronomiques, et ne savons que peu de choses sur les critères d'ordre personnel, psychologique ou social (Darré et al., 1989 ; Darnhofer et al., 2010). En outre, menant des enquêtes très ouvertes afin que les critères émergent directement des producteurs, il est possible que certains critères existants n'aient jamais été formulés par les producteurs. Une méthode plus directive telle que la notation par les producteurs de critères préétablis avec eux, ou l'utilisation de jeux sérieux élaborés pour l'obtention des critères (Lairez et al., 2020) pourraient probablement permettre d'obtenir un plus grand nombre de critères, dont il faudrait tout même vérifier la pertinence. Cependant, cette approche demanderait des moyens supplémentaires à ceux mobilisés ici.

2.4.3. Une approche permettant de répondre aux spécificités de chaque producteur

Une variété d'options techniques pour répondre à une variété des critères et de contraintes liées au fonctionnement de l'exploitation

Nous avons proposé **une variété d'options techniques (8 en tout) avec pour objectif de répondre aux attentes des différents types de producteurs** telles que la production de fourrage pour les bovins (les ICS Fourrage), et la productivité par ha (Associations et Successions). L'origine des ICS aussi diffère : Parmi les 8 ICS proposés, 2 étaient issus de propositions de la recherche (le Mucuna en dérobé du maïs et l'association maïs-pois d'Angole, sachant que ce dernier n'a été choisi par aucun producteur), et les 6 autres étaient inspirés d'une traque aux innovations (chapitre 1). Dans tous les cas, l'objectif était de proposer des ICS très variés pouvant correspondre à une grande diversité de critères des producteurs. C'est pour cette

raison que le travail de recherche s'est fortement appuyé sur des systèmes innovants développés par des producteurs de la zone, et adaptés aux facteurs de changement locaux ainsi qu'aux attentes des autres producteurs (chapitre 1). Les trois ICS regroupés dans le type Fourrage sont également les ICS les plus innovants pour la région, puisqu'ils comportent des espèces très rarement cultivées dans la zone (Mucuna et pois d'Angole).

En proposant ce large éventail d'ICS, notre objectif était **d'augmenter la probabilité que les producteurs trouvent une option qui leur convienne** (« best fit option » selon Descheemaeker et al., 2019), correspondant au mieux à leurs contraintes et opportunités, sans préjuger des critères importants pour chaque producteur. Tout comme Darnhofer et al., 2010, nous considérons qu'il existe différentes solutions valables pour chaque problème et qu'un producteur peut trouver certaines solutions plus utiles que d'autres en fonction, par exemple, de ses priorités, de ses connaissances, de ses moyens et de son histoire. Cependant, notre approche présente des risques. Il y a un risque de conservatisme, s'il y a une forte aversion aux risques liés au changement, ou quand les producteurs choisissent le système qui ressemble le plus à ce qu'ils connaissent déjà, ou bien dans le cas où des options issues de la traque aux innovations seraient trop peu en rupture avec ce qui se fait classiquement dans la zone. Il s'agit du même risque de conservatisme que l'on reproche parfois aux approches de conception pas-à-pas (Meynard et al., 2012). Il y a aussi le risque de proposer une option qui ne satisfera aucun producteur de l'échantillon, comme cela a été le cas pour l'association maïs pois d'Angole. Enfin, il est possible également que des producteurs ne choisissent pas l'option qui aurait le mieux répondu à leur problème, s'ils n'ont pas acquis suffisamment de connaissances lors des activités collectives pour faire un choix éclairé, ou s'ils prennent en compte des facteurs extérieurs, non directement liés à la résolution de leur problème (e.g. pour faire comme un ami, ou pour obtenir gratuitement des semences chères...).

Notre approche non ciblée permet aux producteurs de prendre en charge leurs propres spécificités.

Nous cherchons à ce que les producteurs puissent prendre en charge eux même leur spécificité plutôt que de cibler les technologies selon les caractéristiques des producteurs ou types d'exploitations. Nous reconnaissons que les critères et choix des producteurs dépendent de facteurs nombreux et complexes, tels que les normes sociales, les moyens de productions, les conditions agronomiques mais aussi leur personnalité, leurs préférences et leurs compétences, qui ne peuvent pas tous être pris en charge par les agronomes. C'est pourquoi nous avons donné au producteur la possibilité de rentrer dans un processus de tests et de choisir le système testé après lui avoir fourni un support collectif de réflexion au travers des PPT. Plutôt que d'essayer de déterminer, à la place du producteur, quel serait le meilleur choix à faire pour lui ou elle, nous avons cherché à comprendre son choix à posteriori, après qu'il l'ait fait. Ainsi, afin de répondre à la diversité des enjeux rencontrés par une encore plus grande diversité de producteurs, nous proposons, comme Meynard et al., 2017, de laisser le choix aux producteurs, de les aider à construire leurs propres systèmes et à les adapter à leur propre situation en s'appuyant en particulier sur leurs connaissances.

2.5. Conclusion partielle

Étant donné la diversité des ressources des exploitations, et des attentes des producteurs, étant donné l'incomplétude des connaissances sur les processus locaux, il est très difficile pour les agronomes de concevoir des systèmes adaptés à tous et à toutes les situations.

Si les producteurs choisissent les options techniques selon leurs ressources et leur système d'exploitation, ce ne sont pas les seuls facteurs qu'ils considèrent. Par ailleurs, une même option technique peut répondre à des problématiques différentes. Ne pas proposer des options techniques selon les types d'exploitations agricoles dans notre étude n'a pas empêché la majorité des producteurs de trouver une option qui leur corresponde. Les choix ont été élaborés en fonction de critères de nature variée et différents selon les producteurs.

Plutôt que de concevoir pour le producteur, nous avons cherché à l'aider à concevoir son propre système (i) en lui offrant le choix du système qui lui paraissait le plus proche de ses besoins et (ii) en l'aidant ensuite à adapter le système choisi à ses propres conditions. C'est ce dernier point qui sera traité dans le chapitre 3 de cette deuxième partie.

CHAPITRE 3. Un processus de conception pas-à-pas nourri par l'expérimentation paysanne et les échanges entre producteurs

3.1.Introduction

La durabilité des systèmes agricoles dépend, au moins partiellement, du contexte dans lequel ils sont mis en œuvre (Meynard et al., 2012). Autrement dit, pour être durable, un système agroécologique doit être adapté aux conditions de son « utilisateur » (Altieri et al., 2015). Face aux problèmes que rencontrent les producteurs, il est important de proposer des innovations agroécologiques variées pouvant intéresser une diversité d'entre eux mais également de les aider à ajuster ces innovations à leur situation propre et à construire leurs propres systèmes (Meynard et al., 2012). La validation des choix et l'adaptation des systèmes par les producteurs peuvent se faire lors de la mise en œuvre, par ces derniers, d'une nouvelle option technique, et notamment, lorsqu'ils « l'expérimentent ». En règle générale, au fur et à mesure de l'expérimentation en ferme, les producteurs adaptent les systèmes à leurs besoins propres et circonstances individuelles (Sumberg et al., 2003), selon leurs connaissances (« actionable knowledge », « situated knowledge »), en fonction des aléas extérieurs, et autres situations d'incertitude dans un processus de gestion adaptative (Klerkx et al., 2010). Par exemple, dans l'approche que propose Ronner et al., 2017, on passe d'un nombre limité d'options techniques (« Baskets of options »), à une multitude de systèmes de culture adaptés à chaque cas particulier via la mise en place d'essais d'adaptation gérés par les producteurs que Ronner et al. (2017) appellent « Farmer-managed Adaptation Trials »).

En adaptant les systèmes, les producteurs entrent dans un processus de conception pas-à-pas (Meynard 2012, Toffolini et al., 2017). Meynard et al., 2019 décrivent 5 traits caractéristiques de la conception pas-à-pas de systèmes agricoles. Il s'agit d'une conception dite située, c'est-à-dire dépendante de son contexte et de celle du concepteur, qui est nourrie par l'action, la mise en œuvre (Trait 1: « A situated design fuelled by action ») et par des boucles d'apprentissages (Trait 2: « iterative design loops fostered by learning »). On y retrouve en général la construction progressive d'intentions ou d'objectifs à moyen ou long terme (Trait 3: « The progressive shaping of a future-related intent »). La conception pas-à-pas repose sur des ressources et outils méthodologiques spécifiques (Trait 4: « A specific tool-kit to support step-by-step design ») et sur une dimension collective (Trait 5: « The collective dimension of step-by-step design »).

Ce présent chapitre a pour objectifs (i) d'analyser l'articulation entre des essais de prototypage participatifs (PPT) et des expérimentations par les producteurs au sein d'essais d'adaptation dans leur propre champ que nous appelons Farmers' Adaptation Trials (FAT) dans l'initiation d'un processus de conception pas-à-pas ; (ii) de mettre en lumière les caractéristiques des systèmes de culture qui sont les plus concernés par les explorations du pas-à-pas ; (iii) de mettre en évidence les spécificités de cette conception pas-à-pas liés à notre approche, en particulier en montrant le rôle qu'ont joué les PPT et les dynamiques collectives dans les adaptations individuelles.

3.2. Matériel et méthode

3.2.1. Les PPT, mise en place et suivi

Les PPT1 et les PPT2 ont été mis en place respectivement en 2017 et 2018 comme décrit dans le chapitre 2 (Paragraphe 2.2.1.), et en ANNEXE 2 et ANNEXE 3.

Un suivi précis des itinéraires techniques ainsi que des observations régulières (taux de levée, apparition de maladies, attaques de ravageurs, pression des adventices, humidité du sol...) ont été effectués sur les PPT1 et les PPT2. Les rendements de grain et de biomasse ont été calculés à la récolte à partir des pesées effectuées sur trois à quatre carrés de rendements de 25m² par parcelle élémentaire.

Pour les PPT1, toutes les parcelles élémentaires avaient le même précédent, il a donc été possible de comparer les cultures associées et les cultures pures, et de calculer les Land Equivalent Ratio (LER) pour les associations.

Le LER est un indicateur de la performance des associations et permet d'évaluer l'efficacité de l'association du point de vue de la productivité de la terre. Il a été calculé de la manière suivante :

$$\text{LER} = \frac{\text{Rdt céréale associée}}{\text{Rdt céréale pure}} + \frac{\text{Rdt légumineuse associée}}{\text{Rdt légumineuse pure}}$$

Si LER < 1, il y a une perte de productivité en association par rapport aux deux cultures pures.

Si LER > 1, il y a un avantage productif des associations par rapport aux deux cultures pures.

Si LER = 1, il n'y a aucune différence de productivité entre les deux modes de culture.

Sur les PPT2, les précédents des associations sorgho-légumineuses et des mêmes cultures en pur étaient différents, la comparaison n'était donc pas pertinente et les LER n'ont pas été calculés.

3.2.2. Les FAT: description du dispositif

Les modalités d'organisation des FAT sont détaillées dans le chapitre 2 (paragraphe 2.2.2 page 65)

Les 7 ICS (Table 5) mis en place dans les FAT sont :

- Dans le type « associations » : association sorgho-soja et association sorgho-arachide
- Dans le type « fourrage » : pois d'Angole pur, Mucuna pur, Mucuna en relais du maïs
- Dans le type « Succession intra-annuelle » : Succession Intra-annuelle niébé rouge/ niébé blanc et succession Intra-annuelle niébé rouge/ maïs

Les FAT1 ont été mis en place en 2018, c'est-à-dire pendant la deuxième saison de culture de l'étude, en même temps que les PPT2, et les FAT 2 ont été mis en place en 2019, après l'arrêt des PPT (Figure 4).

La surface imposée pour l'ensemble des FAT1 et des FAT2 était de 0.25 ha. Cette superficie a été choisie pour être accessible à tous les participants y compris ceux ayant peu de terres, et pour que ce soit peu risqué pour les producteurs en cas d'échec, tout en étant suffisamment grand pour présenter un intérêt pour les producteurs (production non négligeable), et pour être représentatif d'un champ classique (0,5 à 3ha).

Toutes les parcelles ont été validées (vérification de l'accessibilité de la parcelle, de l'homogénéité et de l'aspect du sol) et mesurées par l'équipe de recherche avant le début de la saison de culture.

Différentes organisations des parcelles étaient demandées selon les ICS : pour les associations sorgho-légumineuses, les parcelles devaient être divisées en 3 afin d'avoir une moitié en association, un quart en sorgho pur et un quart en légumineuse pure, afin de faciliter la comparaison entre les cultures associées et les cultures pures. Pour le Mucuna en relais du maïs, il était demandé au producteur de réserver une petite partie de la parcelle à la production de graines de Mucuna, dans laquelle le Mucuna devait être semé suffisamment tôt. Toutes les récoltes appartiennent aux producteurs.

Les semences étaient distribuées gratuitement aux producteurs car pas forcément disponibles sur les marchés locaux, chacun a reçu les mêmes quantités, pour un même ICS choisi (Table 16), les quantités ayant été calculées à partir des doses utilisées pour les ICS dans les PPT1.

Table 16 : Quantité de semences distribuées par système de culture pour les PPT1

ICS	Quantités de semences distribuées pour les PPT1
Association sorgho-soja	1kg de sorgho et 5kg de soja
Association sorgho-arachide	1.5kg de sorgho et 5 kg d'arachide
Mucuna pur	10 kg de Mucuna
Mucuna en relais du maïs	5 kg de maïs et 5 kg de Mucuna
Succession Intra-annuelle niébé rouge/ niébé blanc	3kg de niébé rouge et 3kg de niébé blanc
Succession Intra-annuelle niébé rouge/ maïs	3kg de niébé rouge et 5kg de maïs

Entre les PPT1 et les PPT2, seules les quantités de semences distribuées pour l'association sorgho-arachide ont évolué : les quantités d'arachide ont été triplées à la demande des producteurs, ce qui leur permettait de semer l'arachide à une densité relative de 1. Au niveau des intrants de synthèse, seul du NPK pour le maïs du relai maïs/Mucuna a été distribué car le maïs est une des seules cultures fertilisées par les producteurs avec le coton. Les producteurs pouvaient ajouter les intrants qu'ils désiraient, il leur était seulement demandé de signaler au technicien les produits et doses utilisés ainsi que les dates d'application.

3.2.3. Suivi des FAT

Un technicien était chargé de suivre tous les itinéraires techniques (quelles opérations ? à quelle date ? avec combien de main d'œuvre ?) ; d'effectuer à intervalles réguliers des observations sur les parcelles (date de levée des cultures, apparition de maladies, attaques de ravageurs, inondations...) ; et de relever les rendements. Le suivi des rendements a été difficile, notamment parce que le technicien ne pouvait pas toujours être présent lors des récoltes, et que les producteurs n'ont pas toujours respecté les consignes permettant les mesures de rendements (e.g. prévenir en avance le technicien du jour de la récolte, tout récolter le même jour pour une même espèce, ne pas mélanger les récoltes de l'association à celles des cultures pure, garder séparé les récoltes des carrés de rendements indiqués par le technicien...).

Le même suivi a été effectué sur les PPT1 et les PPT2, avec une focalisation plus importante sur les associations sorgho-légumineuses par rapports aux autres ICS dans les PPT2.

Comme leur nom l'indique, les Farmers' Adaptation Trials ont été pensés pour que les systèmes puissent être adaptés par les producteurs. Il n'y a pas eu de protocole de gestion des traitements distribués aux producteurs, mais j'ai conduit des entretiens avec eux tout au long de la saison, avec l'aide du technicien pour la traduction lorsqu'elle était nécessaire. L'objectif de ces entretiens était double : (i) discuter ce que le producteur avait l'intention de faire (pourquoi et comment ?) ; (ii) recueillir des données complémentaires sur les pratiques passées, et sur leur justification.

Ainsi, pour les PPT1, il y a eu trois entretiens individuels par producteur.

- (i) Le premier entretien a eu lieu à la distribution des semences (le même jour et au même endroit du village pour tous les producteurs, qui passaient à tour de rôle) et portait principalement sur les intentions du producteur quant à la préparation du sol et au semis : Quelle préparation du sol et pour quelles raisons? Quelle disposition de semis (densités, organisation spatiale...) et pour quelles raisons ? Quelle organisation temporelle des semis et pour quelles raisons ?
- (ii) Le deuxième entretien a eu lieu sur le FAT avec chaque producteur, après les principales opérations de gestion des adventices et avant les récoltes, au mois d'août et portait sur :
 - Les opérations effectuées : Comment les semis ont réellement été effectués, avec quelle main d'œuvre ? Quelles différences avec ce qui était prévu à la distribution des semences et pourquoi ? Quelles autres opérations ont été effectuées ? Y-a-t-il eu des difficultés ou des événements inattendus ?
 - La suite des opérations, jusqu'aux récoltes : Quelles sont les opérations prévues jusqu'aux récoltes ?
- (iii) Le troisième entretien a eu lieu dans la ferme de chaque producteur (selon l'endroit où il se trouvait pour ses activités), après les récoltes de son FAT, et portait sur :
 - La suite des opérations depuis la visite précédente : quelles opérations réellement effectuées depuis la visite précédente ? Quelles différences avec ce qui était prévu ? Que pense le producteur des quantités récoltées, pour chaque culture ? Et de la qualité de la production ? Y a-t-il eu des difficultés particulières lors de la récolte ?
 - Le bilan du FAT1 et des intentions pour le FAT2. Que pense-t-il de cette première année d'essais ? Désire-t-il continuer l'expérimentation ? Si oui, y-a-t-il des choses qu'il voudrait faire différemment et pourquoi ? Préférerait-il tester un autre ICS et pourquoi ?

Pour les FAT2, l'entretien associé à la distribution des semences a pu se faire normalement avec tous les producteurs. Cependant, l'accès au terrain s'est petit à petit réduit pour des problèmes de sécurité. Je n'ai pu mener qu'une partie des entretiens avec les producteurs, et tous les derniers entretiens (fin des deuxièmes et tous les troisièmes) ont été assurés par le technicien seul. Le programme a également été

clôturé par le technicien seul, lors d'ateliers de clôture des activités pendant lequel il a réalisé un bilan des activités avec les producteurs.

Lors du suivi par le technicien et à l'occasion des entretiens individuels, les producteurs avaient l'opportunité de poser des questions sur les opérations à effectuer sur leur FAT. L'équipe de recherche veillait à être le moins prescriptif possible dans ses réponses, en tâchant de faire émerger la réponse de la réflexion du producteur lui-même, en lui donnant des informations si nécessaire (par exemple des rappels sur la durée du cycle de la culture) ou en lui posant des questions pouvant l'aider dans sa réflexion (« Vue la nature de ton sol, comment penses-tu que la culture va réagir ? »)

3.2.4. Analyse de données

Désignation des producteurs

Afin de respecter l'anonymat des producteurs participant à l'étude, nous les désignons par une lettre et un numéro. La lettre correspond au village du producteur (B pour Boni et F pour Founzan), et le numéro est donné selon un ordre aléatoire.

Caractérisation des modalités de semis :

Nous caractérisons les modalités de semis par 3 paramètres :

- la densité de semis, avec pour indicateur la densité relative de l'espèce en question (Drel) : densité relative de la culture par rapport à une densité de semis de référence correspondant à la densité de la culture en pur classiquement utilisée dans la zone. Lorsqu'il y a deux espèces en présence, **la culture ayant la densité relative est la plus élevée est qualifiée de « culture principale »**.

- l'arrangement spatial lorsqu'il y a deux espèces en présence : il s'agit de la modalité spatiale d'alternance des espèces, distinguant en particulier **Interligne (IL) ou Inter-poquet (IP)** (Figure 19 et Figure 20).

-le décalage temporel des semis lorsqu'il y a deux espèces en présence : nombre de jours entre le semis du sorgho et le semis de la légumineuse, indiqué par **le RST, Relative Sowing Time**, (Yu et al., 2016), qui correspond au nombre de jours entre le semis du sorgho et le semi de la légumineuse (négatif si la légumineuse est semée en premier).

Analyse en composantes principales

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) mixte a été réalisée grâce à Excel Stat® avec les variables quantitatives (Figure 24) et qualitatives (Figure 25) suivantes :

- Le choix du système de culture sur les FAT1 et les FAT2 : variables qualitatives « ICS FAT1 » et « ICS FAT2 » ayant 4 modalités : association sorgho-arachide « asso Sorg Ar », association sorgho-soja « asso Soja Sorg », autre ICS « autre » ou arrêt de l'essai pour les FAT2 « ARRET » (Figure 25).

- Pour les densités relatives de semis de la légumineuse et du sorgho dans les associations: variables quantitatives « Drel leg FAT1 » et « Drel leg FAT2 » pour les densités relatives de la légumineuse sur les FAT1 et les FAT2 ; et « Drel sorg FAT1 » « Drel sorg FAT2 » pour les densités relatives du sorgho sur les FAT1 et les FAT2 (Figure 24).

- Pour l'arrangement spatial (interligne et/ou inter-poquet) des associations : variables qualitatives « IP/IL FAT1 » et « IP/IL FAT2 » avec trois modalités : « IP » pour l'inter-poquet, « IL » pour l'interligne mélangé ou non à de l'inter-poquet, et « NA » s'il n'y a pas d'association mise en place (Figure 25).

- Pour l'ordre des semis avec le « Relative Sowing Time » (RST) ou temps relatif de semis des associations: variables quantitatives « RST FAT1 » et « RST FAT2 » (Figure 24b).

- Pour le buttage des associations : variables qualitatives « Buttage FAT1 » et « buttage FAT2 » à trois modalités : « oui » si un buttage a été effectué, « non » s'il n'y a pas eu de buttage, et « NA » s'il n'y a pas d'association mise en place (cas des ICS « autres » ou « arrêts ») (Figure 25c).

3.3.Résultats

3.3.1. Les associations sorgho-légumineuses ont suscité plus de propositions d'amélioration que les fourrages et les successions intra-annuelles.

Durant les visites collectives des PPT1 (voir description du PPT1 en ANNEXE 2), qui ont eu lieu l'année précédant la mise en place des FAT1, les producteurs participants ont formulé des propositions d'amélioration des prototypes mis en débat (Table 17). Comme le montre la Table 17, la majorité des propositions des producteurs a été prise en compte dans la mise en place des PPT2 (voir description du PPT2 en ANNEXE 3).

Table 17 : Synthèse, par ICS, des propositions d'amélioration issues des visites des PPT : Colonne 1, éléments des PPT1 ayant suscité des propositions d'amélioration de la part des producteurs ; colonne 2, propositions faites par les producteurs lors des visites des PPT1 ; colonne 3, modifications opérées dans les PPT2, et nouvelles propositions issus des visites des PPT2 ; colonne 4, évaluation par les producteurs de ces nouvelles propositions.

Type de ICS	ICS	1.Éléments des PPT1 ayant suscité des propositions d'amélioration	2.Propositions d'amélioration de la part des producteurs	3.Modifications opérées dans les PPT2	4.Évaluation des nouvelles propositions (PPT2) par les producteurs
FOUR-RAGES	Pois d'Angole pur	Pois d'Angole seul, sans protection contre le pâturage pendant la saison sèche	<i>Protéger la culture du pâturage afin de pouvoir récolter les graines</i>	-Démonstration d'une autre variété, plus courte, qui a pu produire des gousses pendant la saison de culture Idem que PPT1 -Installation d'une clôture	<i>Préférence pour la variété à cycle court (il n'y a pas besoin de protéger pour récolter les gousses)</i>
	Mucuna Pur	Mucuna pur (densité : 4 200 poquets/ha)	RAS	Idem PPT1	NA
	Mucuna en relai du maïs	Mucuna semé entre les billon de maïs après 2 ^e sarclage du maïs	Butter le maïs pour éviter la verse et mieux gérer les adventices	Mucuna semé entre les billons de maïs après buttage du maïs	RAS
SUC-CESSIONS INTRA-ANNUELLES	Niébé rouge puis maïs	Deuxième culture semée directement après la récolte de la première, sans travail du sol	<i>Un passage au corps butteur ou un labour entre les deux cultures ; ou bien un relai plutôt qu'une succession : semis de la deuxième culture après le dernier désherbage de la première</i>	Il a été envisagé de faire un relai, mais manque de pluies au moment où il aurait fallu semer la 2 ^e culture, puis la biomasse de la première culture était trop importante, donc nous avons fait une succession sans travail du sol pour la deuxième culture (comme PPT1), afin de la semer au plus tôt.	<i>Insistance des producteurs sur la nécessité d'un travail du sol entre les deux cultures pour assurer la bonne installation et le contrôle des adventices de la deuxième culture</i>
	Niébé rouge puis niébé blanc				
ASSO-CIATIONS	Association sorgho arachide	Associations en inter-poquet, avec densité relative de sorgho supérieure à la densité relative d'arachide, le sorgho et l'arachide semés le même jour	<i>-semes en interligne plutôt qu'en inter-poquet, afin de réduire les risques de compétition interspécifiques, avec la possibilité 2 lignes d'arachide ou de soja par billon</i>	-Mise en place d'une comparaison entre : même association en inter-poquet que PPT1 versus association en interlignes : 2 billons de sorgho/ 1 billon d'arachide avec deux lignes en quinconce sur les flancs des billons. -Buttage du sorgho pour les 2 types d'association	<i>Débat sur l'inter-poquet vs l'interligne : certains producteurs considèrent que l'augmentation des densités compense la plus faible production par pied, mais la majorité considèrent que non</i>
	Association sorgho soja	Associations en inter-poquet, avec densité relative de soja supérieur à la densité relative de sorgho, le soja semé avant le sorgho	<i>- butter le sorgho</i>		

Lorsqu'on compare les itinéraires techniques appliqués dans les PPT1 et ceux suivis par les producteurs dans leurs FAT1, on constate que, sur l'ensemble des ICS mis en place, les opérations techniques

qui ont subi le plus de changements sont les modalités de semis (organisation spatiale et temporelle) et les opérations de gestion des adventices.

Par exemple, les modes de préparation du sol ont peu varié entre producteurs, puisque toutes les parcelles ont eu une préparation du sol par un billonnage avec une charrue attelée à des bœufs (Figure 3), sauf un FAT1 et deux FAT2 sur lesquels a été réalisé un labour à plat à l'aide d'un tracteur, ainsi qu'un FAT1 et un FAT2 qui n'ont pas été labourés par manque de moyen (pas d'accès à des bœufs, pas de trésorerie suffisante pour en louer). Quant aux intrants chimiques, seuls le maïs du relais maïs-Mucuna a été fertilisé, avec le NPK fourni, et un apport supplémentaire d'azote (non fourni) a été fait sur le maïs de seulement deux FAT1 et deux FAT2. Des pesticides (non fournis par le programme) ont été appliqués par les producteurs sur le niébé, avec les produits et les doses habituels du producteur. Certains producteurs ont traité avec un insecticide le maïs du relais, aux même doses que le reste de leur maïs, pour lutter contre la chenille légionnaire.

La Table 18 présente ces principales adaptations apportées par les producteurs sur les FAT1, par type d'opération technique, pour chaque ICS mis en place. La majorité de ces adaptations correspondent aux propositions d'amélioration faites par les producteurs lors des visites commentées sur les PPT1.

Table 18 : Principales adaptations des modalités de semis et de gestion des adventices mises en place par les producteurs dans les FAT1 en comparaison avec les PPT1 (les principales différences sont indiqués dans les cases grises ; est écrit en rouge ce qui concerne les FAT)

ICS		Nbre de producteurs FAT1	Modalités des semis					Gestion des adventices		
			Organisation spatiale semis		Densités de semis		Décalage temporel entre les 2 cultures		PPT1	FAT1
			PPT1	FAT1	PPT1	FAT1	PPT1	FAT1		
FOURRAGES	Pois d'Angole pur	4	Similaire		Similaires		NA		Manuel	
	Mucuna Pur	4	Similaire		Similaires		NA		Manuel	
	Relais Mucuna en relai du maïs	6	Similaire		Similaires		Mucuna semé 6 semaines après le maïs	Mucuna semé entre 6 et 10 semaines après maïs	Manuel	Buttage du maïs
SUCCESIONS INTRA-ANNUELLES	Niébé rouge maïs	3	Similaire		Similaires		succession	Pas de 2e culture (2 producteurs) ou succession	Manuel	
	Niébé rouge niébé blanc	3	Similaire		Similaires		succession	Pas de 2e culture (1 producteur) ou relai (1) ou succession (1)	Manuel	Passage du corps butteur entre les deux cultures
ASSO-CIATIONS.	Sorgho arachide	12	Inter-poquet	Interligne et/ou inter-poquet	Densité de sorgho comme en pur, densité d'arachide faible	Ajustements des densités plutôt à la baisse (Figure 21 :	0 jours	Arachide semé entre 26 jours avant et 6 jours après sorgho	Manuel	Buttage du sorgho (3 producteurs)
	Sorgho soja	7	Inter-poquet	Interligne et/ou inter-poquet	Densité de sorgho faible, densité de soja élevée	Réduction des densités (Figure 22 .)	Soja 10 jours avant sorgho	Soja semé entre 13 et 0 jours avant sorgho	Manuel	Buttage du sorgho (3 producteurs)

Les fourrages

Les fourrages ont été sujets à relativement peu de propositions d'amélioration lors des visites collectives (Table 17), mis à part concernant la protection du pois d'Angole contre la vaine pâture, après la fin de la saison pluvieuse, afin de lui permettre de terminer son cycle. Le pois d'Angole, tout comme le Mucuna, ont en revanche suscité de nombreuses questions. Concernant le pois d'Angole, les questions ont surtout porté sur la durée du cycle, la récolte, et les usages. L'aspect multi-usage (la biomasse comme fourrage et les pois pour l'alimentation de la famille) a été vu comme positif. A contrario, la durée de formation et maturation des graines (maturation nécessaire pour obtenir des semences) a été vue comme un obstacle à la mise en place de la culture, à cause de la vaine pâture, car il est difficile pour les producteurs de protéger les cultures après le début de la divagation des animaux. Afin de prendre en compte cet aspect, nous avons apporté 2 changements sur les PPT2 :

- (i) Nous avons tenté de clôturer la parcelle de pois d'Angole en pur. Malheureusement, une partie de la clôture a rapidement été dérobée, et nous avons dû retirer la clôture restante ;
- (ii) Nous avons introduit une autre variété de pois d'Angole à cycle plus court, fournie par l'ICRISAT, et dont les graines se sont remplies avant la fin de la saison des pluies¹⁵.

Lors de sa mise en place dans les FAT 1, le pois d'Angole a été semé par les producteurs à la même densité que dans les PPT1, c'est-à-dire à la densité classique du maïs.

Le Mucuna pur n'a pas fait l'objet de proposition d'amélioration (Table 17), mais seulement de questionnements de la part des producteurs, notamment sur la possibilité de consommer les graines qui sont en fait toxiques, et nécessiteraient un traitement spécial ¹⁶ (Diallo and Berhe, 2003) pour pouvoir être consommables par les humains, au regret des producteurs. Les questions et propositions d'amélioration suscitées par le Mucuna en relais du maïs sont révélatrices de l'importance du maïs pour les producteurs : ceux-ci se sont montrés inquiets du risque que le Mucuna « n'étouffe » le maïs, insistant sur l'importance de semer le Mucuna une fois que le maïs est suffisamment développé pour pouvoir lui résister, et sur l'importance de butter le maïs afin de mieux drainer l'eau en cas de grosse pluie, d'éviter la verse et de lutter contre les adventices par un désherbage mécanisé. C'est pourquoi nous avons buté le maïs sur les PPT2 et semé le Mucuna après le buttage.

Que ce soit pour le Mucuna pur ou le Mucuna en relais, les producteurs ont tous essayé de reproduire les densités des PPT dans leur FAT1.

¹⁵ Comme vue au chapitre 2, cette variété a été très appréciée par les producteurs, mais nous n'avons pu récolter suffisamment de graines pour pouvoir en distribuer à tous les intéressés.

¹⁶ En faisant bouillir puis laissant tremper 48h avec changement de l'eau toutes les 12 heures.

Les successions intra-annuelles

En ce qui concerne les successions intra-annuelles de 2 cultures, les producteurs relèvent deux difficultés majeures. La première est la nécessité de semer tôt la première culture, dès les premières pluies, souvent avant la fin de la veine pâture¹⁷. La deuxième difficulté anticipée par les producteurs est celle de la levée de la deuxième culture et de la pression des adventices dans celle-ci, s'il n'y a pas de travail du sol entre les deux cultures (colonne 1 Table 18). Les producteurs ont proposé soit de passer la charrue ou un corps butteur (utilisé généralement pour le buttage (Figure 9)) afin d'effectuer un travail du sol entre les deux cultures, soit de faire une association en relais, c'est-à-dire de semer la deuxième culture après le dernier désherbage de la première culture. Dans les deux cas, l'objectif était de diminuer la quantité d'adventices au semis de la deuxième culture (Table 17), mais la proposition d'effectuer un relais peut aussi permettre plus de souplesse sur la date de semis de la première culture. Il était initialement prévu de tester le relais dans les PPT2, mais la période de semis de la deuxième culture a coïncidé avec un moment de sécheresse, et lorsque la terre était enfin suffisamment humide, la biomasse de la première culture était trop importante pour permettre une levée correcte d'une deuxième culture. L'idée d'un labour entre les deux cultures n'a pas été retenue sur les PPT2 : les premiers semis ayant été effectués tard, cela aurait d'autant plus retardé les semis de la deuxième culture, et nous cherchions à réduire le travail du sol plutôt qu'à l'augmenter, par souci d'économie de travail et pour ne pas risquer de participer au processus de dégradation du sol.

Pour les densités de culture, ce sont les densités généralement pratiquées pour ces espèces dans la zone, correspondant aux recommandations locales, qui ont été utilisées dans les PPT et par les producteurs, qui avaient déjà l'habitude de ces densités de semis. Sur les FAT, les successions ont parfois été semées en relais (semis de la deuxième culture avant récolte de la première), comme suggéré par le groupe lors des visites collectives. Sur les FAT1, la moitié des producteurs a renoncé à semer la deuxième culture : l'un d'entre eux a rencontré le même problème que nous, à savoir un manque de pluie au moment de semer la deuxième culture ; les autres ont considéré que la saison était trop avancée pour semer une 2^e culture. La plupart des producteurs n'ont pas été satisfaits par cet ICS, considérant comme trop importante la contrainte de semer plus tôt la première culture (cf. chapitre 2).

Les associations sorgho-légumineuses

Le type d'ICS « Associations » est celui ayant suscité le plus de propositions de la part des producteurs, et ayant aussi le plus évolué entre les PPT1 et les PPT2. Les propositions des producteurs concernant les associations ont été sujettes à débat au sein des collectifs lors des visites. Deux points ont été systématiquement évoqués lors des visites commentées :

¹⁷ C'est d'ailleurs une des difficultés que nous avons rencontrées sur les PPT (situés dans des zones de vaine pâture à Boni et à Founzan), : nous n'avons pas pu semer suffisamment tôt. Le niébé rouge, et la culture semée en succession du niébé n'a jamais pu se développer suffisamment (cf. chapitre 2).

(i) **Préférence de l'interligne par rapport à l'inter-poquet** (Figure 19 et Figure 20). Dès les visites des PPT1, sur lesquelles les associations étaient en inter-poquets, une majorité de producteurs ont manifesté une préférence pour la disposition en interligne, raison pour laquelle nous l'avons introduite dans les PPT2. Les parcelles des PPT2 montrant les 2 dispositions côte-à-côte ont suscité de nombreux commentaires, éclairant les raisons de la préférence générale pour l'interligne. Il apparaît que les producteurs regardent davantage la production par poquet que la production par unité de surface, ce qui explique leur préférence pour la disposition en interligne, qui laisse davantage de place à chaque plant pour se développer. Ils considèrent que, au mieux, l'inter-poquet ne peut fonctionner que sur des sols pauvres, ce qui était le cas des PPT, car autrement les plants risquent de trop se développer et de se gêner. Les producteurs ont insisté sur ce point davantage pour l'arachide que pour le soja, disant que l'arachide en inter-poquet se développe beaucoup moins bien qu'en interligne : d'après les producteurs, le développement des gousses d'arachide étant gêné par les racines du sorgho, et la partie aérienne de l'arachide se développant près du sol, bien en dessous du sorgho, cette culture risque de souffrir de la compétition pour la lumière avec le sorgho (« *le sorgho fait de l'ombre* » « *c'est trop serré* »). Il est à noter que les semences d'arachide reviennent relativement chères car il en faut une quantité importante, vue la taille des graines. Les producteurs cherchent donc à rentabiliser au maximum chaque graine semée. Les producteurs voient aussi l'inter-poquet comme impliquant davantage de travail, notamment concernant la gestion des adventices, qui serait plus compliquée du fait de la proximité des deux espèces différentes. Le travail est également plus difficile à la récolte de la légumineuse, qui doit se faire avant celle du sorgho (les plants de sorgho étant fauchés et étalés au sol pour être récoltés, l'autre culture serait abîmée), car il faut faire attention à ne pas abîmer le sorgho alors que l'on a peu d'espace pour travailler. D'après les producteurs, le principal intérêt de l'inter-poquet est de produire davantage de biomasse, et donc davantage de fourrage pour les animaux, mais cela reste un critère secondaire pour la plupart d'entre eux concernant ces associations. La notion de LER leur a été expliquée, mais leur a paru peu pertinente, surtout à Boni, où les producteurs ne font quasiment pas d'associations de culture. Pour la majorité des producteurs, la productivité par poquet prime sur la productivité par unité de surface, et ce quelle que soit l'association. Sur leurs essais FAT, les producteurs ont plus souvent semé en interligne (8 FAT1 et 14 FAT2) qu'en inter-poquet (10 FAT1 et 1 FAT2).

(ii) **Controverse sur la possibilité ou non de butter** (Figure 9) : les producteurs n'étaient pas tous d'accord sur l'importance du buttage (différentes réponses à la question : « Peut-on s'en passer ? ») mais il y a eu un consensus sur le fait que cela dépend du sol (par exemple c'est très important sur des sols peu drainants afin d'évacuer l'eau en surplus). D'après les producteurs, si on ne peut pas butter, il faut au moins pouvoir passer le triangle sarcler en traction animale afin de faciliter le désherbage. Plusieurs producteurs ont expliqué qu'il est plus facile de butter le soja (plants érigés) que l'arachide (gousses dans le sol), et les associations en interligne que les associations en inter-poquets. Décaler les semis peut également aider : par exemple, si on sème une légumineuse précoce suffisamment tôt par rapport au sorgho, on peut espérer la

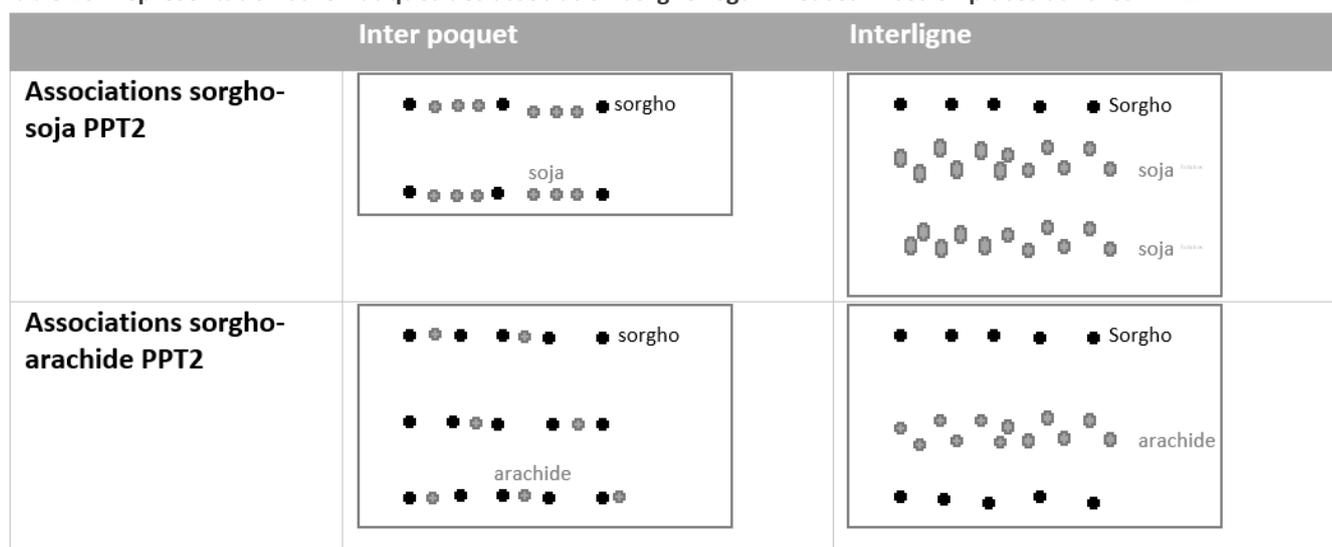
récolter juste avant le buttage du sorgho (cette pratique est déjà mise en place par quelques producteurs de Founzan avec des associations sorgho-niébé). Finalement, la moitié des FAT (FAT1 et FAT2 confondus) ont été désherbés en traction animale. Deux producteurs hésitaient à le faire sur leur FAT1, et ont posé la question à l'équipe d'agronomes : comme indiqué plus haut (paragraphe 3.2.3), les agronomes ont veillé à faire émerger la réponse des producteurs, en nourrissant la réflexion par des questions ouvertes (e.g. « Connaissant ton sol, quel sera la hauteur des cultures au moment de butter ? » « Penses-tu que les plants seront suffisamment développés pour supporter le buttage ? » etc...). Les deux producteurs ont finalement butté, prenant leur décision en cours de saison, au vu de l'état de développement des cultures.

Par ailleurs, lors des visites sur PPT, les producteurs ont remarqué que le sorgho en association avec l'arachide était mieux développé (plus grand, plus vert) que le sorgho seul et pouvait donc avoir un impact positif sur le sorgho. Les rendements obtenus confirment ces observations (Table 19) Il s'agissait d'une association additive dans laquelle la densité de sorgho en association était la même qu'en pur, et pour laquelle nous avons obtenu des LER (Land Equivalent Ratio) supérieurs à 1, aussi bien à Boni qu'à Founzan.

Table 19 : Rendements du sorgho et de l'arachide obtenus dans les PPT1 (2017) et les PPT2 (2018°

Village	Système de culture	Rendements Sorgho (kg/ha)	Rendements Arachide (kg/ha)	LER
BONI	Association	406	60	2,3
	Culture pure	320	58	
FOUNZAN	Association	217	47	1,4
	Culture pure	214	118	

Table 20: Représentation schématiques des association sorgho-légumineuses mises en places dans les PPT2.



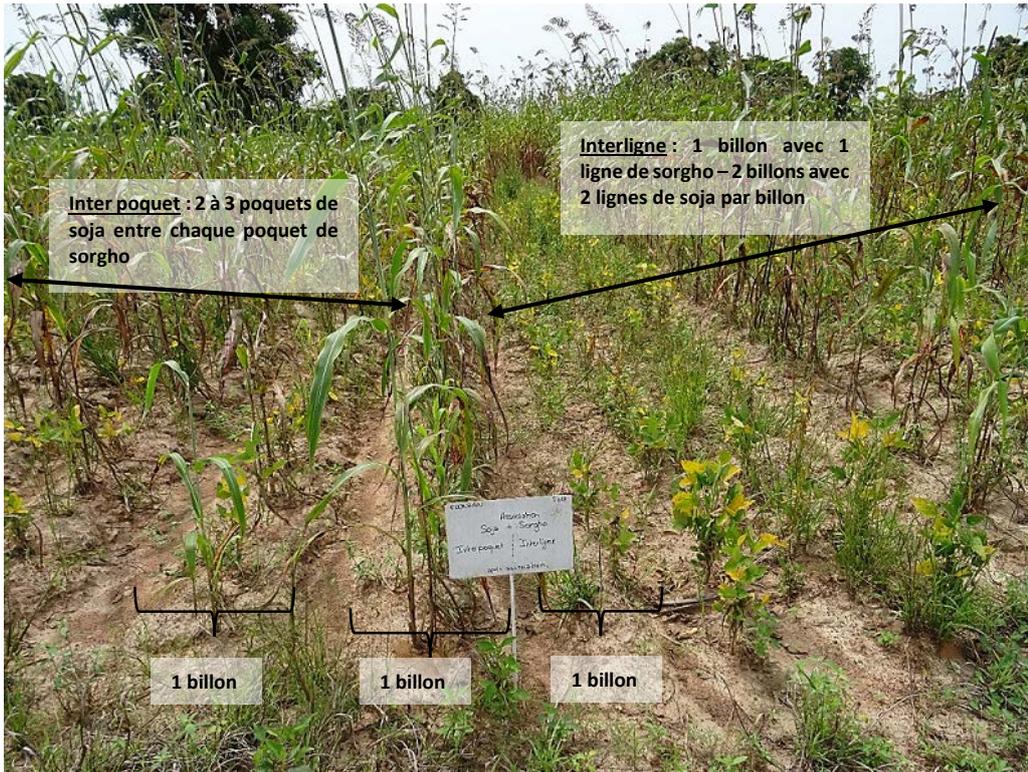


Figure 19 : Photo de l'association sorgho soya sur le PPT2 de Founzan, avec à gauche l'association en inter-poquet et à droite l'association en interligne, août 2018 (Photo : Anne Périnelle)

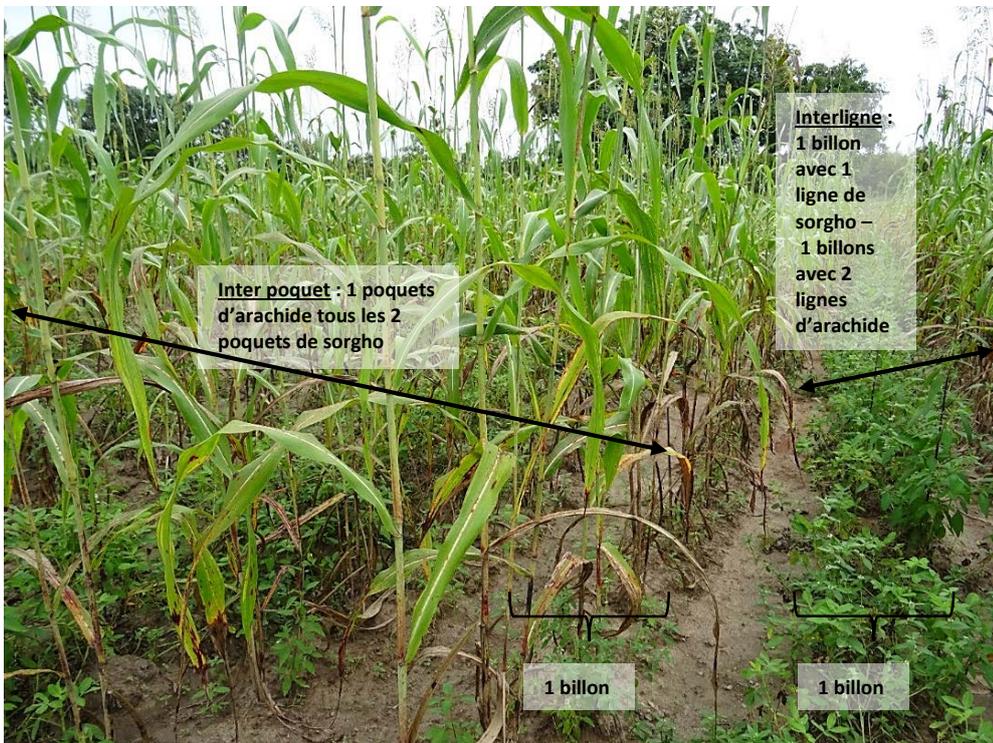


Figure 20 : Photo de l'association sorgho arachide sur le PPT2 de Founzan, avec à gauche l'association en inter-poquet et à droite l'association en interligne, août 2018 (Photo : Anne Périnelle)

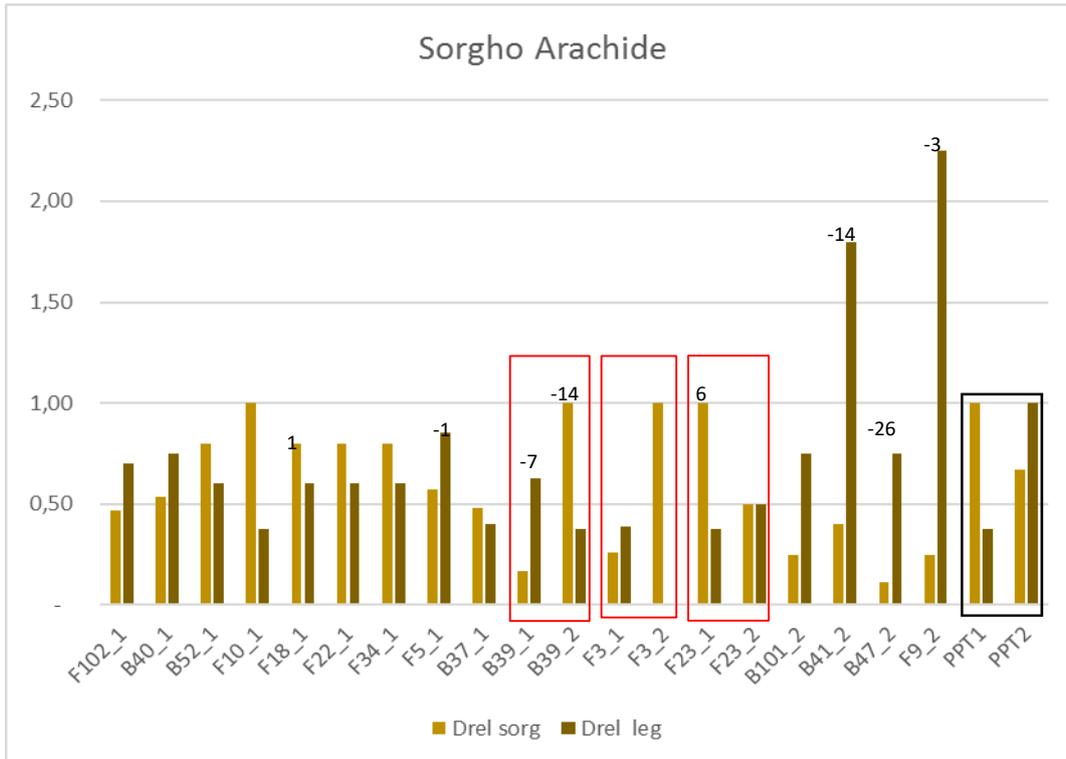


Figure 21 : Histogramme des densités relatives de sorgho (Drel sorg) et d'arachide (Drel leg) par parcelles FAT1 (_1), FAT2 (_2), PPT1 et PPT2 permettant de comparer les FAT entre eux et avec les PPT. En chiffre au-dessus des barres sont indiqués les RST (nombre de jour de décalage entre le semis du sorgho et celui de la légumineuse) quand il diffère de 0 ; dans un même cadre rouge, le FAT1 et le FAT2 du même producteur, et dans un cadre noir les PPT.

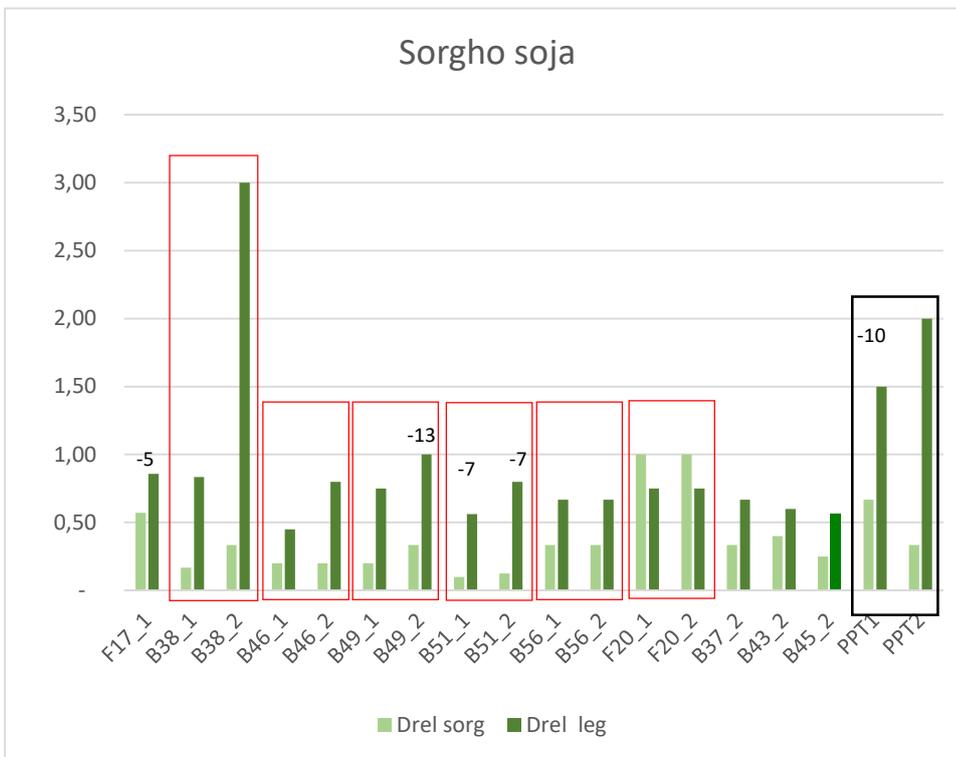


Figure 22 : Histogramme des densité relatives de sorgho (Drel sorg) et du soja (Drel leg) par parcelles FAT1 (ID_1), FAT2 (ID_2), PPT1 et PPT2 permettant de comparer les FAT entre eux et avec les PPT. En chiffre au-dessus des barres sont indiqués les RST (nombre de jour de décalage entre le semis du sorgho et celui de la légumineuse, négatif quand la légumineuse est semée avant) quand il diffère de 0 ; dans un même cadre rouge le FAT1 et le FAT2 du même producteur, et dans un cadre noir les PPT.

En comparant les modes de semis proposés dans les PPT avec les modes de semis mis en place par les producteurs (Figure 21 et Figure 22), on constate que les producteurs n'ont pratiquement jamais reproduit à l'identique le mode de semis du PPT, et qu'ils ont plutôt eu tendance à diminuer les densités de semis. Pour ce type d'ICS, c'est l'ensemble des modalités de semis et les opérations de gestion des adventices qui ont été adaptés.

L'ordre des semis est un élément important des logiques agronomiques des producteurs. En effet, on peut remarquer que c'est la culture principale (plus forte densité relative) qui est, dans tous les cas étudiés ici, semée en premier : C'est le cas pour les 3 associations sorgho + soja (F17, B49, B51) ayant un RST différent de 0 (Figure 22), et dans lesquelles le soja a été semé en premier (Relative Sowing Time (RST) négatif). Par contre, concernant l'association sorgho + arachide, l'arachide est la culture principale et est semée en premier sur 5 parcelles (F5, B39, B41, B47et F9) alors que le sorgho est la culture principale et est semée en premier sur 3 parcelles (B39, F18 et F23 (Figure 21). Les premiers semis sont ceux ayant le plus de chance de réussir, car ils sont rapprochés du labour (donc généralement mis en place sur une parcelle « propre ») et le producteur peut se permettre, si nécessaire, d'attendre une pluie permettant une humidité du sol appropriée. En outre les producteurs expliquent que la culture semée en premier a le temps de se développer un peu avant la germination de sa potentielle compétitrice. Ainsi, les producteurs décalant les semis le font généralement avec l'intention de réduire la compétition entre les deux espèces en faveur de la première culture semée. La culture que nous avons qualifiée de principale est aussi souvent celle que le producteur déclare comme étant la plus importante, sauf s'il considère les deux cultures d'une importance égale.

3.3.2. Une grande diversité dans l'adaptation des modes de semis des associations, liée à la gestion des adventices et à la réduction de la compétition interspécifique

Les associations sorgho-légumineuses (sorgho-arachide et sorgho-soja) ont été à la fois les ICS les plus souvent choisis (26 producteurs sur 39 les ont testés au moins une année) et les plus adaptés par les producteurs. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi de focaliser sur les associations le reste de l'étude de l'adaptation des ICS par les producteurs.

Les modes de semis ont été adaptés entre les PPT1 et les FAT1 puis entre les FAT1 et les FAT2 de manières variées selon les producteurs, aussi bien pour l'association sorgho-soja que pour l'association sorgho-arachide. Il en résulte une grande diversité de modes de semis :

- entre les PPT1 et les FAT1, puisqu'un seul producteur (F10) sur 19 a semé son association sur son FAT1 en suivant les modalités de semis du PPT1 (Figure 21);
- entre les deux années d'essai d'un même producteur (FAT1 et les FAT2) ; seuls 2 producteurs (B56 et F20) sur 9 ayant fait des associations sur leur FAT1 et leur FAT2 ont semé de la même manière leur association sur leur FAT 1 et leur FAT2 (Figure 22).

- entre tous les FAT: parmi les 25 producteurs, seuls 3 producteurs (B52, F22 et F34) ont semé de manière identique (arrangement spatial, densité et décalage temporel des semis) sur le FAT1. Ces trois producteurs ont convergé dans l'adaptation de l'inter-poquet proposé dans le PPT1, en semant un poquet d'arachide entre tous les poquets de sorgho plutôt qu'un poquet d'arachide tous les 2 poquets de sorgho, et sans décalage temporel entre les semis. Les 22 autres producteurs ont adapté les modalités de semis de manière différente.

Afin de mieux comprendre cette diversité d'adaptation par les producteurs, nous avons analysé, pour chaque producteur, différentes caractéristiques de leurs FAT1 et FAT2 par une ACP mixte (cf. partie matériel et méthode, paragraphe 3.2.4).

L'axe F1 de l'ACP (Figure 23, Figure 24, Figure 25) explique 33,77 % de la variabilité entre producteurs ; il est fortement corrélé aux différentes densités relatives (Figure 24). Les densités relatives des FAT1 sont négativement corrélées à celles des FAT2, selon cet axe F1. Les RST sont assez peu représentés par les axes F1 et F2. L'axe F2 qui explique 18,28% de la variabilité est assez peu corrélé aux variables quantitatives (Figure 24). Par contre, concernant les variables qualitatives et leurs modalités (Figure 25) F2 discrimine les FAT2 en interligne (« IP/IL FAT2-IL ») et les FAT2 non buttés (« Buttage FAT2-non »).

La projection des producteurs sur le premier plan de l'ACP mixte (Figure 23) font apparaître 7 types de « dynamiques d'adaptation » que nous faisons figurer différentes des couleurs sur la Figure 23. Les points appartenant à un même type sont très majoritairement plus proches les uns des autres que des points d'un autre type, et les trois sous-types n'incluant qu'un seul producteurs (1', 2' et 3') sont représentés par des points à l'écart de autres types. Chaque type de dynamique présente une cohérence du point de vue des adaptations apportées par les producteurs et des changements effectués entre le FAT1 et le FAT2 (voir paragraphe suivant).

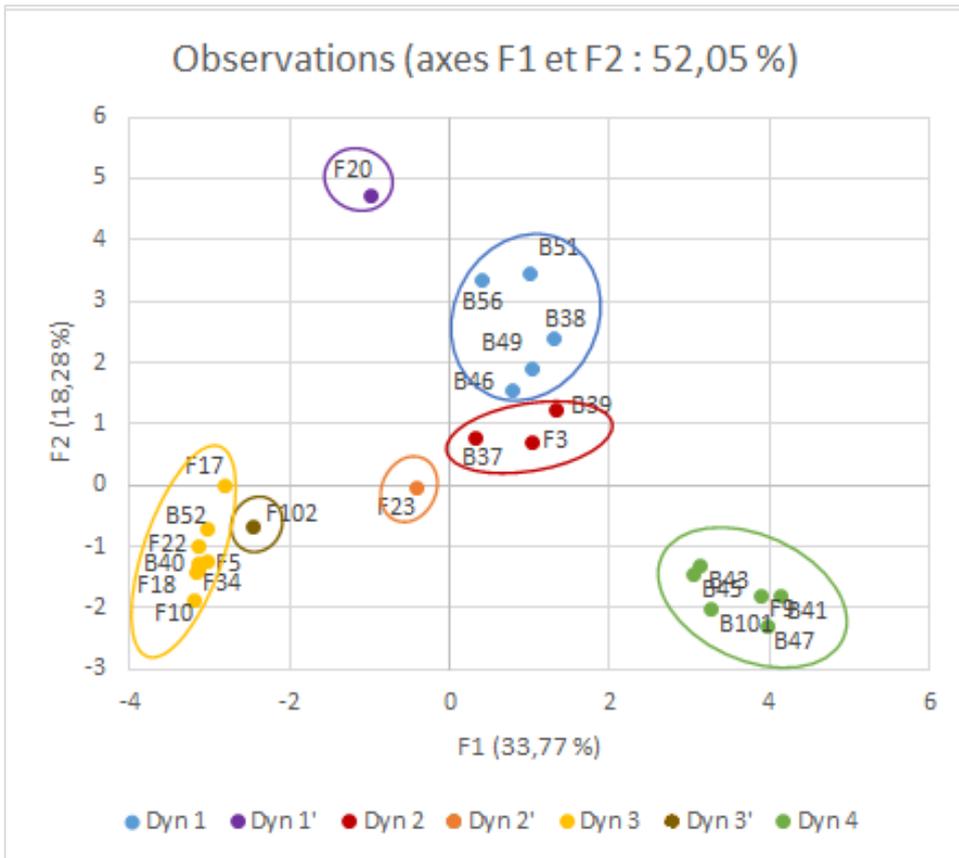


Figure 23 : Projection des individus sur le plan des deux premiers axes de l'Analyse en composante principale mixte (ACP mixte), mettant en évidence les différents types de dynamiques d'adaptation du semis en fonction de variables quantitatives (densités relatives de la légumineuse et du sorgho sur les FAT1 et les FAT2) ; et de variables qualitatives (choix du système de culture, interligne ou inter-poquet, pour les FAT1 et les FAT2)

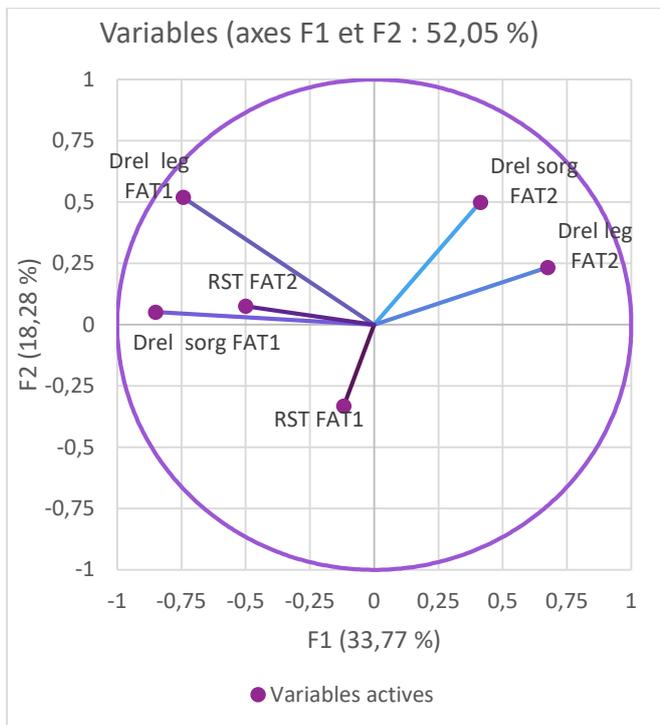


Figure 24 : Projection des variables quantitatives de l'ACP mixte (Dleg FAT 1 : Densités relatives de la légumineuses sur les FAT1 ; Dleg FAT 2 : Densités relatives de la légumineuses sur les FAT2 ; Dsorg FAT 1 : Densités relatives du sorgho légumineuses sur les FAT1 ; Dsorg FAT 1 : Densités relatives du sorgho légumineuses sur les FAT1)

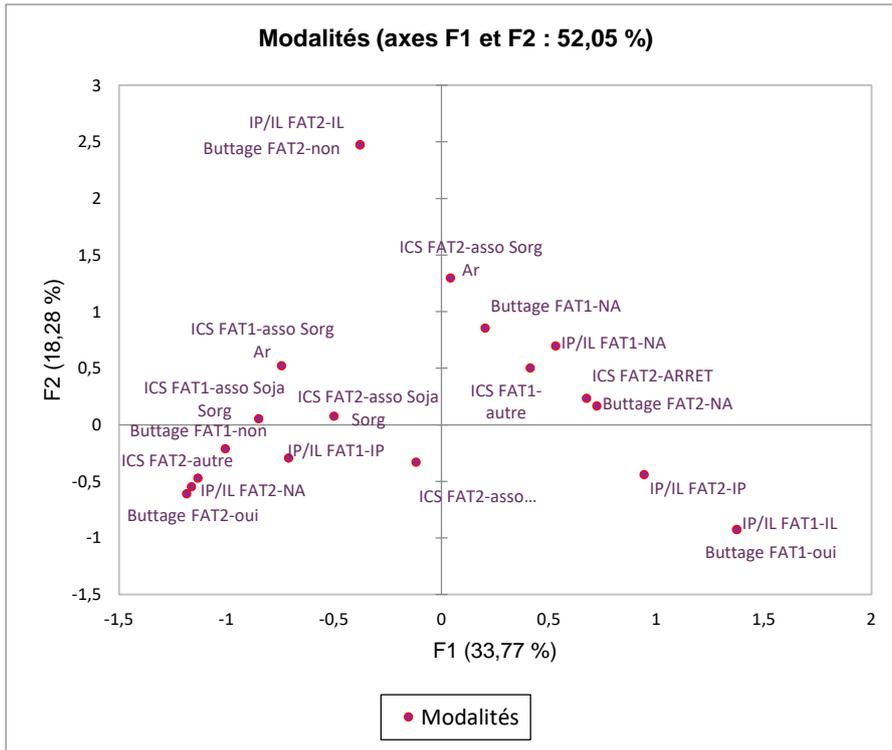


Figure 25 : Projection des modalités qualitatives de l'ACP mixte. Modalités pour le choix de l'ICS sur le FAT1 (ICS FAT1): association sorgho-arachide (asso Sorg Ar), association sorgho-soja (asso Sorg Soj), ou autre ICS (autre) ; Modalités pour le choix de l'ICS sur le FAT2 (ICS FAT2): association sorgho-arachide (asso Sorg Ar), association sorgho-soja (asso Sorg Soj), autre ICS (autre) ou pas de FAT2 (arrêt) ; Modalité pour l'Interligne ou l'Inter-poquet sur le FAT1 (IP/IL FAT1) ou le FAT2 (IP/IL FAT2) : Inter-poquet (IP), Interligne (IL) ou pas d'association (NA).

DYNAMIQUES STABLES ENTRE FAT1 et FAT2

Type 1. Dynamique d'adaptation « Interligne avec soja en culture principale sur FAT1 et FAT2, augmentation de la densité totale via l'augmentation de la densité de semis de soja »

Les 5 producteurs de ce type, tous de Boni, ont mis en place l'association sorgho-soja durant les deux années d'essai. Ils ont tous commencé avec des densités de sorgho et de soja environ 2 fois plus faibles que les densités des PPT1 (ANNEXE 4). Un producteur (B56) a conservé les mêmes densités entre le FAT1 et le FAT2, mais les 4 autres producteurs (B38, B46, B49, et B51) ont augmenté leur densité totale de semis, notamment celle de soja, mais généralement sans dépasser les densités proposées dans les PPT (sauf pour B38). Ces producteurs priorisent le soja, car ils veulent transformer ou vendre la production (critère « valorisation de la production » chapitres 1 et 2) et avoir un effet suffisamment important sur la fertilité du sol pour ne pas avoir besoin de fertiliser le sorgho (critère « fertilité du sol » chapitres 1 et 2).

Plus précisément :

- B56, qui est le seul de ce type n'avoir pas changé ses densités de semis, a constaté un effet bénéfique du soja sur le sorgho dès la première année de test. Il a pu butter les 2 années de test, lui et B51 étant les seuls de cette dynamique à avoir butté.

-B46 a quasiment doublé sa densité de soja (en passant de $D_{rel}=0,45$ à $D_{rel}=0,80$), mais en gardant une densité de sorgho très faible ($D_{rel}=0,20$). Cependant, ayant perdu 1 de ses 3 bœufs de traction entre les 2 années d'essais, il était davantage limité pour la gestion des adventices en traction animale. Il a donc décidé d'appliquer un herbicide sélectif sur le soja, détruisant le sorgho. Il a tout de même pu récolter, sur son FAT3, 1,4 tonne par ha de soja sur la parcelle en pur et 1,1 tonne par ha en association (PP2). Il produit du soja pour la vente.

-B38 est celui dont la progression de densités a été la plus impressionnante (densité de soja multipliée par 3 et densité de sorgho doublée). Pour parvenir à cela, il passe d'un travail du sol en billonnage à un labour à plat afin de pouvoir resserrer les lignes de soja entre les lignes de sorgho ; il passe ainsi d'une ligne tous les 70 cm (1 ligne par billon) à une ligne tous les 30 cm. En diminuant la surface non couverte par les cultures, il cherche à augmenter la production mais également à diminuer la pression des adventices.

Type 1'. Dynamique d'adaptation « Inter-poquet avec sorgho en culture principale sur FAT1 et FAT2 »

F20 a adopté une dynamique d'adaptation très différente de tous les autres producteurs, présentant une logique agronomique qu'il a gardée durant les deux années de son expérimentation. Il est le seul à avoir fait une association sorgho-soja avec le sorgho comme culture principale, et il est également le seul à n'avoir pas abandonné l'inter-poquet après une année d'essai. Il a utilisé une densité de semis de sorgho en association égale à celle en pur, ce qui lui permet d'obtenir une association additive avec une somme des densités relatives de 1,75 et ainsi de récolter davantage qu'avec du sorgho en culture pure (critère « Productivité/ rendements » des chapitres 1 et 2). Pour le producteur, ce choix du sorgho comme culture principale est cohérent avec le choix de l'inter-poquet : d'après lui, le soja est l'espèce risquant le plus de pâtir de la compétition interspécifique favorisée par l'inter-poquet, et le sorgho, qui est sa culture prioritaire, sera moins affecté en cas de compétition. En outre, F20 a pu gérer les adventices grâce à de la mécanisation en traction animale : un buttage en traction animale a dû être effectué en année 1 pour faire face à une importante pression des adventices dû à un travail du sol superficiel (préparation du sol avec un corps butteur car la charrue n'était pas disponible), mais un sarclage en traction animale a suffi en année 2 (préparation du sol par billonnage). Ce changement a constitué une amélioration significative pour le producteur car le buttage de l'association en inter-poquet lui a demandé davantage de travail que pour une culture pure (il a eu besoin d'une personne supplémentaire suivant le corps butteur et arrangeant les plants dérangés par le buttage).

DYNAMIQUES AVEC CHANGEMENTS FORTS ENTRE FAT1 ET FAT2

Type 2. Dynamique d'adaptation « Interligne avec changement de culture principale entre FAT1 et FAT2 »

Entre les FAT1 et les FAT2, les trois producteurs de ce type (B39, B37 et F3) ont changé de culture principale, révélant ainsi un changement important de stratégie et de critères d'évaluation, qui leur a permis de se rapprocher des densités de semis des PPT1 (ANNEXE 4). Aucun de ces trois producteurs n'a butté sa parcelle. En voici la description détaillée :

- B39, est passé d'une densité plus importante d'arachide que de sorgho (0.62 contre 0.17) à une densité plus importante de sorgho que d'arachide (1.00 contre 0.38), après avoir constaté qu'en mettant peu de sorgho dans l'arachide, afin d'éviter la compétition entre les deux espèces et faciliter la récolte (sa stratégie de l'année 1), une grande partie du sol restait nu après la récolte de l'arachide, qui est une espèce précoce, laissant la place aux adventices et augmentant le travail de désherbage du sorgho.

-B37 passe de l'association sorgho-arachide avec le sorgho semé plus densément que la légumineuse, à l'association sorgho+ soja dans laquelle c'est la légumineuse qui a une densité relative plus importante. En changeant de système, elle passe du sorgho comme culture principale à la légumineuse. En parallèle, B37 a continué l'association sorgho- arachide, sur une plus petite parcelle et avec ses propres semences, avec une disposition en interligne 1 ligne arachide- 2 lignes sorgho (alors qu'elle avait fait 2 lignes arachide – 3 lignes sorgho en première année) donc en gardant le sorgho en culture principale.

- F3 a réduit la densité de sorgho à l'extrême puisqu'il renonce finalement à semer le sorgho dans l'arachide. Dès le FAT2, ce producteur (qui fait partie des participants à l'étude ayant le moins de ressources) a rencontré des difficultés importantes : ayant perdu un de ses 2 bœufs juste avant la saison de culture, il n'a pas pu labourer la parcelle. Cela a eu pour conséquence un semis très désordonné (pas de ligne dessinée par les billons) ce qui a accentué les difficultés de gestion des adventices, favorisées par le non labour pendant les deux années d'essai (FAT1 et FAT2). Les rendements de cette première année ont été très faibles. L'année suivante, il a préféré réduire la charge de travail en favorisant l'arachide. Parmi les 3 producteurs testant l'association sorgho-arachide pendant les deux années, c'est le seul à avoir augmenté sa densité totale en augmentant la densité d'arachide.

Type 2'. Dynamiques d'adaptation « Inter-poquet sur FAT1, puis passage à l'interligne sur FAT2»

F23 continue l'essai sur son FAT2 mais passe d'une disposition en inter-poquet à une disposition en interligne, de manière à réduire la compétition entre les deux cultures, même si cela signifie une réduction

des densités de semis. En plus d'avoir changé la disposition des semis, F23 a également rapproché les dates de semis des deux espèces afin d'éviter que les oiseaux déterrent et mangent les semences.

Type 3. Dynamiques d'adaptation « Inter-poquet sur FAT1, puis arrêt de l'association sur FAT2 »

Sur un total de 10 producteurs ayant semé en inter-poquet sur leur FAT1, 8 ont abandonné l'essai l'année suivante, constituant le 3^e type de dynamique d'adaptation (ANNEXE 4). Parmi eux, 5 avaient le sorgho en culture principale et 3 la légumineuse. L'un des producteurs (F17) a testé l'association sorgho-soja. Les 7 autres, ayant testé l'association sorgho-arachide, mettent en avant plusieurs difficultés en lien avec le critère « gestion du travail » : les gousses d'arachide se développant dans la terre, la disposition en inter poquet est problématique au moment du sarclage et de la récolte : « les racines du sorgho se mêlent à l'arachide et rendent difficile son arrachage à la récolte » a précisé un producteur, sans compter qu'au moment de la récolte de l'arachide, le sorgho est déjà bien développé et gêne les mouvements de la main d'œuvre. En outre, d'après les producteurs, le fait de faire rentrer les animaux sur une parcelle en inter-poquet est plus délicat, le travail demandera plus de temps pour la même surface et parfois de la main d'œuvre supplémentaire (une personne qui suit la machine afin de remettre les plants en place), et en effet, seul un producteur de ce type (B52) a buté sa parcelle de FAT1.

Par ailleurs, B52 et B40 disent avoir abandonné cette association car leurs parcelles sont davantage adaptées à la culture du sorgho qu'à celle l'arachide : les producteurs sèment l'arachide sur des sols plutôt sableux, alors que le sorgho est semé sur des sols à plus forte réserve utile.

Concernant les autres cas particuliers :

-F102, B40 et F5 ont dû rajouter un peu de leurs propres semences pour augmenter la densité d'arachide.

- F17 est le seul de ce type à avoir fait l'association sorgho soja. Il a préféré reprendre la culture du soja en pur comme il l'a fait les 4 années précédentes, car il considère que cela demande moins de travail pour un rendement de soja plus élevé. Sa priorité étant la culture du soja, il veut éviter de réduire le rendement de soja, même si cette perte est compensée par la production de sorgho.

Type 3'. Dynamique d'adaptation « Interligne sur FAT1 puis arrêt de l'association sur FAT2 »

F102 est le seul producteur à abandonner l'association sorgho arachide après l'avoir testée en interligne, ce qui laisse penser que l'association en interligne pose moins les problèmes de gestion (désherbage, récolte) et de risques de compétition interspécifiques évoqués par ceux abandonnant l'inter-poquet (type 3).

Type 4. Dynamique d'adaptation « Association mise en place directement sur les FAT2, avec la légumineuse comme culture principale »

Les 6 producteurs de ce type n'ont expérimenté une association que sur leur FAT2 (ANNEXE 4), ils avaient choisi un autre type de système de culture l'année précédente (voir chapitre 2). Tous ont pour culture principale la légumineuse comme dans la majorité des autres FAT2 : sur l'ensemble des 15 FAT2, 12 ont la légumineuse comme culture principale. Un des objectifs de ces producteurs est de profiter de l'apport d'azote de la légumineuse pour ne pas avoir besoin de fertiliser le sorgho (critères « fertilité du sol » chapitres 1 et 2). Les densités mises en place dans ce type 4 restent assez éloignées des densités proposées dans les PPT. Aucun producteur de cette dynamique n'a butté son FAT2.

-B43, B45 ont testé l'association sorgho-soja. Ils ont des densités de soja plus élevées que les densités de sorgho (comme tous les producteurs faisant cette association, sauf F20), mais leurs parcelles font partie de celles ayant les densités relatives de sorgho parmi les plus importantes.

-B101, B41, B47, F9 ont testé l'association sorgho + arachide, avec des densités d'arachide de 3 à 9 fois supérieures aux densités de sorgho, ce qui a été facilité par l'augmentation des quantités d'arachide distribuées, même si certains d'entre eux (B41 et F9) ont ajouté leurs propres semences pour avoir des densités d'arachide plus élevées que celles proposées dans les PPT.

3.4. Discussion

3.4.1. Un processus de conception pas-à-pas initié de manière collective dans les PTT et poursuivi par chaque producteur dans son exploitation

Le processus de co-conception initié dans ce travail correspond aux caractéristiques, ou traits de la conception pas-à-pas décrits par (Meynard et al., 2019).

Trait 1- Une conception située et alimentée par l'action

Les producteurs ont adapté les systèmes en les testant en situation réelle (à la taille de la parcelle près, qui était imposée). La mise en action a nourri les décisions prises par les producteurs pour ajuster les systèmes, que ce soit sur des décisions rapides, pendant la saison de culture (par exemple, le choix de butter ou non le sorgho selon son développement et celui de la légumineuse), ou bien d'une saison sur l'autre (par exemple augmentation des densités de semis entre les 2 années d'essai). Le processus ici initié correspond à un processus de **conception par l'usage** (Cerf et al., 2012): En s'appropriant les options techniques, les producteurs participent à la conception. Les objets conçus (une multitude de systèmes de culture) sont différents des objets initiaux (les options techniques proposées dans les PPT). Tous les producteurs ont adapté, dès la première année d'essai, les systèmes proposés par les agronomes.

Ainsi, par la confrontation à l'usage et à l'action, l'enchaînement PPT-FAT a permis de faire émerger **de nouveaux systèmes**, différents les uns des autres. On a assisté à une grande diversification des manières de cultiver les associations. Il s'agit bien d'une conception située permettant de façonner des systèmes adaptés à chaque situation particulière dépendant de processus biologiques spécifiques, liés au sol, au climat et à l'histoire culturelle de la parcelle, ainsi que des contraintes, objectifs et connaissances, également situés, du producteur qui pilote la conception pas-à-pas (Toffolini et al., 2017) ; les systèmes conçus sont situés, et uniques.

Dans l'ensemble de notre démarche, nous avons constaté **une progression de la richesse des propositions** des producteurs au fur et à mesure de l'augmentation de la confrontation au « faire » : des propositions très pauvres voire inexistantes lors des ateliers en salle, puis des propositions intéressantes lors des visites des PPT, jusqu'au à la riche diversité de propositions concrètes suite à la mise en place des FAT. De même, la mise en action révèle **de nouveaux critères d'évaluation** des producteurs (voir chapitre 1). Par exemple, le sorgho n'est pas forcément la priorité dans l'association sorgho-légumineuse, et au contraire, c'est généralement la légumineuse qui est priorisée par les producteurs, le plus souvent pour ses effets bénéfiques sur la fertilité du sol, et par intérêt pour la récolte (transformation ou vente du soja, diversification de l'alimentation de la famille pour l'arachide pendant la période de soudure). La conception est ainsi alimentée par la mise en action. Or cette mise en action n'est souvent pas exploitée en recherche agronomique (Salembier et al., 2020) : elle n'enrichit ni les ateliers de conception, ni la conception assistée par modèle.

Trait 2- Boucles itératives de conception favorisés par les apprentissages

Les producteurs ajustent leurs systèmes d'une année sur l'autre à partir de leçons tirées des résultats de pratiques antérieures, c'est-à-dire dans un processus de gestion adaptative (Busquet, 2006). Un exemple en est donné par la dynamique d'adaptation de type 1 : les producteurs réduisent tout d'abord fortement les densités par rapport aux densités des PPT, puis, l'année suivante, les augmentent en se rapprochant des densités des PPT. Or, sur les parcelles paysannes, on est généralement en deçà des densités optimales car les paysans cherchent à réduire les risques, notamment liés aux conditions climatiques, en réduisant en particulier les coûts liés aux semences et parce que les conditions de semis sont souvent mal maîtrisées (Chivasa et al., 1998, Scopel and Louette, 1992). Ainsi, pour beaucoup de producteurs, la productivité par poquet prime sur la productivité par unité de surface : ils cherchent à compenser la faible densité par la taille des épis. Il peut y avoir plusieurs raisons telles que la volonté d'économiser les semences, d'optimiser le travail de semis et de gestion des adventices (plus il y a des poquets, plus le travail de sarclage manuel est difficile). Mais, après un an de mise en œuvre du système (FAT1) en parallèle de visites sur les PPT2, les producteurs ajustent à la hausse leurs densité, se rapprochant ainsi des densités utilisées dans les PPT. Cette augmentation des densités peut être, au moins en partie, due aux observations des PPT, qui ont

donné de bons résultats avec des densités plus élevées, et des FAT1, dans lesquelles les producteurs ont observé peu de compétition interspécifique. Les producteurs ont leur propre estimation de la productivité, et le fait de ne pas avoir la mesure précise des rendements ne semble pas avoir perturbé le processus de conception pas-à-pas.

Ce processus d'amélioration constante est conditionné par des boucles d'apprentissages. Les FAT ont suscité différents types d'apprentissages. Argyris et Schön (1978) différencient l'apprentissage en simple boucle, qui permet de générer des changements opérationnels et cumulatifs, de l'apprentissage en double boucle qui produit des changements plus fondamentaux, stratégiques et radicaux (Étienne, 2010). La simple boucle produit des connaissances qui font évoluer l'action, comme par exemple une augmentation progressive des densités de semis. La double boucle produit des connaissances qui conduisent à l'évolution des objectifs de l'action, comme ça a été le cas pour plusieurs producteurs ayant suivi une dynamique d'adaptation de type 2, c'est-à-dire avec changement de culture principale entre le FAT1 et le FAT2. Par exemple, B39 a semé assez peu de sorgho dans l'arachide en année 1 afin d'éviter la compétition entre les deux espèces et de faciliter la récolte, et a augmenté la densité de sorgho en année 2, changeant la culture principale, pour récolter davantage de sorgho et réduire la proportion de sol nu après récolte de l'arachide. Cet apprentissage en double boucle se traduit par une révision des critères d'évaluation du producteur et de ses objectifs.

Les apprentissages, et donc la conception pas-à-pas, commencent dans les PPT. Dans notre étude, les agriculteurs ont acquis des connaissances de diverses manières : observations au champ, dans les PPT et les FAT, échanges entre pairs (lors des visites collectives) et avec les agronomes (visites collectives et suivi individuel), résultats des FAT. Cette combinaison d'apprentissages via l'acquisition d'informations nouvelles (observations, interventions des agronomes) et d'apprentissages expérientiels (par la mise en œuvre) et collectifs (par les échanges entre pairs) permet de favoriser les changements de pratiques (Tafesse et al., 2020). Ainsi, les observations réalisées dans les PPT ont pu servir de base au raisonnement des FAT1, et des producteurs ayant rencontré sur leur FAT1 un problème qui ne pouvait pas être anticipé par l'observation des PPT, sont parvenus à le résoudre dans les FAT2.

Trait 3- La construction progressive d'une intention relative au futur

Nous ne sommes qu'au tout début du processus, **la conception pas-à-pas est appelée à se poursuivre.** D'ores et déjà, on voit des objectifs à moyen ou long terme des producteurs, qui s'expriment d'abord dans le choix de l'ICS testé (chapitre 2).

L'objectif visé par chaque producteur n'est qu'incomplètement défini. Il est différent selon les producteurs. En choisissant l'ICS qu'il testait, chaque producteur souhaitait répondre à différents critères (chapitre 2). Ces critères ont pu évoluer au cours de l'expérimentation dans les FAT, justifiant des changements dans les logiques agronomiques mises en œuvre et donc dans les systèmes testés. La variété

de dynamiques d'adaptation, qui peuvent s'apparenter à des débuts de trajectoires de changement (Chantre and Cardona, 2014) fait partie du processus d'appropriation par les producteurs et les différentes voies empruntées peuvent converger vers des objectifs communs (Chantre et al., 2015). Dans notre cas, certaines dynamiques d'adaptation ont suivi la même logique agronomique d'une année sur l'autre (cas des dynamiques de types 1 et 1'), alors que d'autres ont complètement changé de logique (dynamiques 2 et 2') jusqu'à renoncer à continuer le travail sur les associations sorgho-légumineuses (dynamiques 3 et 3'). Enfin, certains ont commencé la conception pas-à-pas directement sur leur FAT2 (dynamique 4) en adoptant la même logique agronomique que celle majoritaire sur les FAT2. En effet, concernant la dynamique 4, il est intéressant de relever qu'ils ont tous directement choisi l'interligne avec la légumineuse en culture principale pour leur FAT2, rejoignant ainsi la pratique majoritaire. Il y a eu convergence sur l'intention de favoriser la légumineuse par rapport au sorgho. Cela suggère qu'il y a eu un changement collectif dans les critères et les objectifs des producteurs : on est passé d'un système où la légumineuse était associée pour favoriser la croissance de la céréale, à une nouvelle situation où la légumineuse devient la véritable source d'intérêt pour ce qu'elle produit directement. Ce résultat souligne l'importance du collectif dans les dynamiques de changement (Lamine, 2011).

Trait 4- Une boîte à outils spécifique pour accompagner la conception pas-à-pas

La conception pas-à-pas a mobilisé dans notre cas deux outils principaux : les PPT et les FAT.

Les PPT ont constitué un support d'échange entre les agronomes et les producteurs : ils ont permis à différents types d'acteurs de partager des observations et des connaissances sur les systèmes innovants, constituant ainsi des espaces permettant la communication entre acteurs très différents pour atteindre un objectif commun, c'est-à-dire des « objets frontières » (boundary objects) (Trompette and Vinck, 2009; Klerkx et al., 2010). Les PPT ont ainsi permis aux agronomes comme aux producteurs d'échanger, de mieux s'approprier les systèmes et de les améliorer. Ils ont constitué un « lieu commun de propositions et de tests de solutions » permettant de montrer les caractéristiques des prototypes en cours de conception et de tester leur faisabilité (Jeantet, 1998), facilitant ainsi la communication et la coordination entre les différents concepteurs que sont les agronomes et les producteurs. Cependant, il s'agit de prototypes mis en place dans des conditions différentes que les conditions réelles de producteurs : parcelles élémentaires plus petites qu'un champs paysan (400 m² contre au moins 5000m²), opérations réalisées par de la main d'œuvre rémunérée avec une trésorerie supérieure à celle des producteurs, etc. Cela a pu induire un biais dans l'évaluation des producteurs. Par exemple, il est possible que sur de petites surfaces, les producteurs soient plus attentifs à l'état des chaque plant, donc à la productivité par plant ou poquet, et moins à la productivité globale, à l'unité de surface, ce qui participerait à expliquer pourquoi, lors des visites sur les PPT, les producteurs s'intéressaient davantage à la productivité par poquet des cultures associées qu'à la productivité à l'unité de surface (LER).

Les FAT sont également un outil précieux pour la conception pas-à-pas : ils permettent une confrontation à la réalité avec une prise de risque modérée. La mise en place d'un FAT demande peu d'investissement en intrants (les semences sont données gratuitement), et il y a un suivi par un agronome à qui il est toujours possible de poser des questions. L'essai se fait sur une surface modeste (0.25 ha), ce qui est peu pour la plupart des hommes car ils ont un accès assez facile à la terre, tout en étant suffisamment grand pour être représentatif d'une parcelle classique. Par contre, pour les femmes qui ont un accès à la terre très restreint, la superficie des FAT a pu être un frein à leur implication. Les systèmes testés dans les FAT sont appelés à s'étendre dans les exploitations, après validation de leur intérêt pour le producteur et de leur maîtrise par ce dernier. Cette phase n'a pu être abordée dans la durée de la thèse.

Trait 5- La dimension collective de la conception pas-à-pas

La dimension collective est forte dans notre approche : d'une part, les visites collectives des PPT ont joué un rôle important dans la démarche, d'autre part, les PPT2 constituent des supports d'expérimentations collectives (« collective experimental design » (Navarrete et al., 2018)). Les adaptations des systèmes de culture mises en œuvre entre les FAT1 et les FAT2 sont permises par des observations ayant lieu lors de la première année d'expérimentation, mais également grâce à des échanges avec des pairs et avec les agronomes. Comme dans l'étude de Navarrete et al., 2018, nous avons constaté que les échanges entre pairs ont aidé à faire émerger de nouvelles idées, et à porter un regard différent sur les expérimentations collectives (les PPT) et individuelles (les FAT). En effet, des idées qui ont émergé lors des visites des PPT ont été testées par des producteurs sur les FAT, telle l'idée de faire 2 lignes d'arachide par billon, qui a été exprimée par un producteur sur le PPT1 de Founzan et mise en place par deux autres producteurs dans leur FAT1, en même temps que par l'équipe de recherche dans les PPT2. Les débats qui ont eu lieu sur les PPT ont également pu influencer des changements de direction dans les dynamiques d'adaptation. Par exemple, dans la dynamique d'adaptation de type 3, les producteurs ont d'abord testé l'association sorgho-arachide disposée en inter-poquet, comme ce qu'ils avaient observé dans les PPT. Lors des activités de groupe, une majorité de producteurs ont affirmé préférer la disposition en interligne à celle en inter-poquet pour, d'après eux, réduire les effets de compétition entre les deux espèces. Cet effet de groupe a contribué à l'abandon de la structure en inter-poquets après 1 an d'essai. Un autre exemple est l'intérêt pour le pois d'Angole à Founzan, qui a globalement augmenté dans le collectif suite à l'évaluation positive qu'en ont fait plusieurs producteurs (voir chapitre 2) : les retours d'expérience de ces producteurs ont eu un effet sur d'autres membres du groupe (Darré et al., 1989). Ainsi, les activités collectives ont aidé au moins une partie des producteurs à mieux expérimenter chez eux, et peut être, comme dans l'étude de Chantre and Cardona, (2014), à mieux apprendre de leurs propres expérimentations.

En plus des échanges entre les producteurs lors des visites commentées, **de nombreux échanges ont eu lieu de manière informelle**, sans les agronomes (et sont donc très peu documentés) : discussion en marge

des visites, et hors des activités organisées. Les échanges de semences de pois d'Angole et de Mucuna entre producteurs, qui ont eu lieu dans les 2 villages, constituent un marqueur de ces échanges d'informations. Ces échanges entre pairs, ainsi que les apprentissages permis par l'expérimentation, sont reconnus pour favoriser la conception de systèmes innovants complexes comme ceux à base de légumineuses (Mawois et al., 2019).

3.4.2. Certains systèmes de culture, et certaines opérations de l'itinéraire technique, se prêtent davantage à la conception pas-à-pas que d'autres

Certains systèmes de culture ont été plus adaptés que d'autres.

On observe davantage de différence entre les itinéraires techniques des PPT et des FAT pour les associations sorgho-légumineuses que pour les successions intra-annuelles et les fourrages. **Nos résultats suggèrent plusieurs freins à l'adaptation des systèmes** : pour les successions intra-annuelles, la marge de manœuvre est faible. En effet, les fenêtres de semis sont étroites car il s'agit de semer le plus tôt possible, et les densités de semis proposées sont celles déjà utilisées dans la zone. Ce système est peu flexible (Toffolini et al., 2017), car il ne supporte pas de changement dans les dates de semis de la première culture. Pour les fourrages, la problématique est plutôt celle des connaissances sur les espèces en présence : les producteurs n'ont pas l'habitude de cultiver le pois d'Angole et le Mucuna, ils ne savent pas comment ces espèces réagissent, et sont donc peu enclins à tester de nouveaux modes de gestion. Les producteurs ont besoin d'un certain niveau de connaissance pour entrer dans la re-conception d'un système (Toffolini et al., 2017).

Ronner et al. (2017) soulignent **l'importance de proposer des pratiques flexibles et adaptables par les producteurs**. De manière générale, nos résultats sur les associations de culture confirment ce constat : comme dans Ronner et al. (2017), la quasi-totalité des producteurs ont adapté leurs systèmes, et les producteurs utilisent de multiples critères d'évaluation qui ne sont pas seulement liés aux rendements. Pour aller plus loin dans l'analyse des adaptations apportées par les producteurs, il serait intéressant de regarder les liens entre les dynamiques d'adaptation des producteurs et leur type de système de production, comme l'ont fait Ronner et al. (2017), mais cela nécessiterait un échantillon de producteur plus large que le nôtre.

La majorité des adaptations ont porté sur le mode de semis, mais ont aussi impacté le reste de l'itinéraire technique.

L'élément de l'itinéraire technique qui a été le plus adapté par les producteurs est le mode de semis, ce qui n'est pas neutre pour le reste de l'itinéraire technique : les modalités de semis peuvent fortement impacter les modalités de récolte (dates de récolte, pénibilité...) mais également la gestion des adventices qui est en interaction directe avec l'arrangement spatio-temporel entre espèces de l'association. Un des critères de choix pour l'interligne plutôt que pour l'inter-poquet était de faciliter le sarclage (par un triangle sarcler) ou le buttage en traction animale. En outre, la plupart des producteurs considèrent qu'il y a davantage de risque de compétition interspécifique (lumière et nutriments du sol) avec la disposition en inter-poquet, ce qui était vrai dans les PPT puisque l'association en inter poquet était semée à des densités

plus élevées que pour l'interligne. Il est possible que les effets allélopathiques du sorgho (Doré et al., 2004) jouent également un rôle dans les comportements de la légumineuse que les producteurs attribuent à la compétition.

Les producteurs ont eu tendance à accroître les densités de légumineuses au détriment des densités de sorgho. Or, dans la littérature, c'est généralement la céréale qui est la culture principale (Yu et al., 2016), surtout si la céréale est le maïs, et ce dans différentes régions du monde (Lienhard et al., 2020), y compris au Burkina Faso (Coulibaly et al., 2012). Cette priorisation de la légumineuse sur la céréale répond à différents critères des producteurs. Parmi ceux-ci, on retrouve l'intérêt pour la production elle-même, pouvant être vendue, ou permettant de diversifier l'alimentation de la famille (transformation du soja, consommation de l'arachide durant la période de soudure) (Muoni et al., 2019). On retrouve également la volonté d'optimiser les effets positifs de la légumineuse sur la fertilité du sol, grâce à la fixation de l'azote par la légumineuse (Giller, 2001), et comme stratégie de lutte contre le Striga (*Striga hermonthica*) (Khan et al., 2006). Dans ce cas, c'est surtout l'effet précédent de la légumineuse qui est recherché, plutôt que l'effet direct de la légumineuse sur la céréale via des exsudats azotés directement valorisables par la céréale (Yu et al., 2016). En outre, si des densités de semis élevées peuvent faire partie d'une stratégie de lutte contre les adventices : parce que des densités de cultures élevées permettent de diminuer la proportion de surface nue propice au développement des adventices, et ainsi d'augmenter la compétitivité du système de culture vis à vis des adventices (Altieri et al., 2011), mais aussi parce qu'une densité élevée de légumineuse est plus efficace dans la lutte contre le Striga (Franke et al., 2018).

D'autres pratiques mises en place par les producteurs dans l'adaptation des systèmes ont une logique agronomique scientifiquement avérée. C'est par exemple le cas du choix de semer la culture prioritaire en premier : les producteurs font ce décalage afin de favoriser une bonne levée de la culture, en choisissant le meilleur moment possible par rapport à la préparation du sol et au labour. Cette pratique est cohérente avec ce que montrent Yu et al. (2016) par une méta-analyse : dans une association, la culture semée en premier est généralement favorisée en terme de productivité.

Cependant, concernant le choix de la culture principale, celui-ci est à relativiser compte tenu du fait que les producteurs ont été influencés dans leurs choix de densités de semis par les quantités de semences distribuées qui permettaient, pour les FAT1, une densité relative d'arachide moins élevée que celle de sorgho, et une densité relative de soja plus importante que celle de sorgho, comme sur les PPT1. Certains producteurs faisant l'association sorgho arachide ont ajouté de leurs propres semences, ce qui met en avant l'importance pour eux d'augmenter cette densité relative.

3.4.3. La posture de l'agronome dans l'accompagnement de la conception pas-à-pas.

Dans notre approche, **nous considérons le producteur comme le concepteur de son mode de production**, décalant ainsi le rôle de l'agronome, qui n'est plus celui qui conçoit pour le producteur, mais

celui qui l'aide à concevoir. On est là dans un régime de conception stimulant la conception par les producteurs (régime 5, Salembier et al., 2018). La manière dont nous avons travaillé avec les producteurs en étant le moins prescriptif possible, et en essayant de leur laisser la plus grande marge de manœuvre possible, était pensée pour encourager ceux-ci à adapter les systèmes. Que ce soit lors des visites collectives ou lors des entretiens individuels, l'agronome avait surtout un rôle d'accompagnateur de la réflexion des producteurs en leur fournissant (ou en les aidant à mobiliser) les connaissances utiles à la re-conception de leurs systèmes de culture (Salembier et al., 2018). L'appropriation des innovations par les producteurs passe par l'acquisition et l'application de savoir-faire et de connaissances situées, permises par la mise en action (Prost et al., 2018, Toffolini et al., 2017) et par la possibilité, pour chacun, d'adapter ses pratiques à ses propres conditions et à ses propres objectifs et critères (Ronner et al., 2017). L'intégration des critères et connaissances des producteurs aux connaissances scientifiques permet de stimuler la conception (Salembier et al., 2020).

Il y avait tout de même des limites imposées aux producteurs, ne serait-ce que pour des raisons logistiques. Par exemple, une contrainte forte était les quantités de semences distribuées. D'autres contraintes ont très probablement introduit des biais dans les adaptations mises en place par les producteurs, tel que le choix de la parcelle (nous avons demandé à ce qu'elle soit accessible à l'équipe, et que le sol ne soit pas complètement dégradé et marginal dans sa représentativité, ce qui a été vérifié pour toutes les parcelles), et la taille de l'essai.

3.5. Conclusion partielle

Les processus adaptatifs pas-à-pas stimulés par notre démarche se sont fait grâce à des apprentissages et ajustements rapides des systèmes mis en place : d'une saison à l'autre, les apprentissages ont évolué et les pratiques ont été revisitées par les producteurs. De nombreux apprentissages ont eu lieu et continuent d'avoir lieu, et il s'agit maintenant de mieux comprendre comment ils ont été réalisés afin d'optimiser à la fois le suivi du processus d'innovation et les dynamiques collectives.

Cependant, la conception pas-à-pas étant un processus de longue haleine, demandant de nombreuses tentatives et de nombreux ajustements à des facteurs qui sont généralement eux-mêmes changeants, ce processus adaptatif doit se faire sur le temps long, plus long que cette étude de 3 ans. La durée trop courte des projets (3-5 ans) ne permet généralement pas de suivre les dynamiques d'adoption des techniques, sauf à pouvoir accompagner la transition sur plusieurs projets. Il y a là une réelle opportunité d'action et d'approfondissement des connaissances sur la conception pour des projets futurs de l'équipe de recherche partenariale intervenant dans la région. Ainsi, dans cette étude nous n'avons qu'initié le processus de changement mais on peut espérer que la dynamique collective enclenchée pourra participer à la continuité du processus d'innovation par les producteurs.

PARTIE 3 : Discussion générale et Conclusion

1. Discussion générale

1.1. Retour sur l'approche

1.1.1. Une démarche originale articulant différentes méthodes jusqu'ici mobilisées séparément

L'articulation de trois outils, pour la conception distribuée de Systèmes de Culture Innovants (ICS)

Notre travail s'appuie sur une articulation originale de différents outils, qui n'ont jamais été utilisés ensemble pour la co-conception de systèmes de culture : (i) la traque aux innovations, c'est à dire l'identification et l'étude d'innovations mises en place par les producteurs, (ii) des essais de prototypage participatifs (PPT), (iii) des ateliers de conception et d'évaluation, et (iv) des essais paysans de conception pas-à-pas (FAT) (Figure 26). Nous avons d'abord repéré, décrit et analysé des systèmes de culture atypiques inventés par des producteurs innovants de la région d'étude. Ces systèmes atypiques, et quelques autres, ont été mis en démonstration dans deux villages, dans des essais de prototypage participatif (PPT). Par l'analyse croisée des **critères des producteurs innovants, et des critères d'évaluation des producteurs des deux villages ayant** participé aux visites collectives des PPT, nous montrons dans le premier chapitre que des systèmes de culture mis en place par les producteurs innovants du territoire anticipent différents facteurs de changement de la zone, et intéressent d'autres producteurs en répondant à leurs propres critères de satisfaction. La mise en démonstration et en débat dans les PPT d'options techniques variées, techniquement accessibles, que les agronomes ont fait évoluer en prenant en compte l'évaluation des producteurs a permis **d'impliquer et de mobiliser une grande diversité de producteurs**. Ensuite, nous avons proposé aux producteurs des deux villages de choisir, parmi les systèmes des PPT, celui qu'ils avaient envie de tester chez eux. L'étude des **choix de systèmes de culture** à tester sur leur FAT faits par les producteurs des 2 villages a été conduite dans le chapitre 2. Nous avons conclu que les choix des producteurs ne sont que peu déterminés par les caractéristiques de leurs exploitations, et que les apprentissages collectifs permis par les visites des PPT ont contribué à favoriser l'autonomie de choix de chaque producteur. Enfin, en étudiant **les adaptations apportées par les producteurs** aux systèmes de cultures qu'ils ont choisi d'essayer chez eux (FAT), nous constatons que les producteurs adaptent progressivement les systèmes à leur situation particulière, et entrent dans un processus de conception pas-à-pas nourri par les échanges entre eux et avec les agronomes (chapitre 3).

Si chaque outil mobilisé dans ce travail a déjà largement été exploré dans des démarches de co-conception, la manière dont nous les avons mis en œuvre comporte une certaine originalité :

- **La traque aux innovations** a non seulement révélé des innovations sur lesquelles nous nous sommes basés pour la suite du travail, mais elle a également permis d'identifier les critères de satisfaction des producteurs innovants (les critères sur lesquels ils se basent pour dire qu'un système de culture leur convient, ou non). Ce faisant, la traque a alimenté le processus de conception d'une manière originale. En effet, en utilisant la traque pour initier concrètement un travail de co-conception avec les producteurs, nous sommes allés plus loin que Salembier et al. (2016), Blanchard et al. (2017), ou Verret et al. (2020).
- Qu'on les appelle expérimentations-système ou matrices (Husson et al., 2016), des essais sans répétitions analogues aux **PPT** ont déjà été utilisés par des agronomes comme supports de leur réflexion, et de leur apprentissage sur la conception ainsi que pour l'adaptation des systèmes au contexte (Meynard et al., 2012). Dans notre travail, ils ont aussi constitué pour les producteurs, des supports d'évaluation, de débats et d'apprentissages lors des visites collectives. Les PPT ont aussi servi de plateformes d'échange entre agronomes et producteurs, et de point de jonction entre 2 démarches de conception pas-à-pas, qui se sont faites en interaction, dans un processus de conception distribuée : d'un part, les PPT1 ont été améliorés par les agronomes pour donner des PPT2 plus performants et diversifiés ; d'autre part, les producteurs ont adapté les systèmes sur leur exploitation dans les FAT1. Le fait de s'appuyer sur des systèmes innovants de producteurs du territoire pour concevoir les PPT, puis sur les propositions des producteurs pour ajuster les systèmes d'une année sur l'autre ne se retrouve pas, dans les démarches de prototypages classiques (Vereijken, 1999, Husson et al., 2016), et a sans aucun doute participé à mobiliser les producteurs et à lancé une dynamique collective (Mawois et al., 2019).
- **Les FAT** ont permis aux producteurs de rentrer dans un processus de conception pas-à-pas individuel. Plus de la moitié des producteurs ayant participé aux visites de PPT (39 sur 73) ont choisi de mettre en place un FAT dans leur exploitation. En adaptant progressivement les systèmes de culture à leurs propres conditions, et en fonction de leurs connaissances (Ronner et al., 2017), les producteurs ont pu s'approprier ces systèmes. Lors de cette phase, le producteur est le concepteur, et l'agronome accompagne la conception du producteur. A notre connaissance, de telles postures ont rarement été adoptées, et encore moins étudiées, en contexte ouest-africain.

Chaque étape à laquelle participent les producteurs révèle leurs critères d'évaluation : critères d'évaluation des producteurs innovants pour les ICS de la traque (chapitre 1), critères d'évaluation des producteurs villageois révélés par les visites collectives des PPT (chapitres 1 et 2), critères d'évaluation pour le choix du ICS à mettre en place (chapitre 2), et critères d'évaluation pour les adaptations apportées aux systèmes mis en place dans les FAT (chapitre 3).

Les critères des producteurs ont évolué chemin faisant, mettant en lumière tout à la fois leur connaissances évoluent et que ce qu'ils recherchent se dévoile petit à petit, au fur et à mesure que l'objet conçu se précise (Meynard et al., 2019). De même, la mobilisation des producteurs a évolué : au fur et à mesure des activités dans les PPT et dans les FAT : le nombre de participants s'est réduit mais l'implication de chacun a augmenté, les évaluations et propositions devenant de plus en plus riches et élaborées. Ces dynamiques ont permis une évolution significative des systèmes de culture innovants (ICS) : que ce soit par des ajustements et la diversification des options techniques dans les PPT, ou par l'adaptation des pratiques dans les FAT.

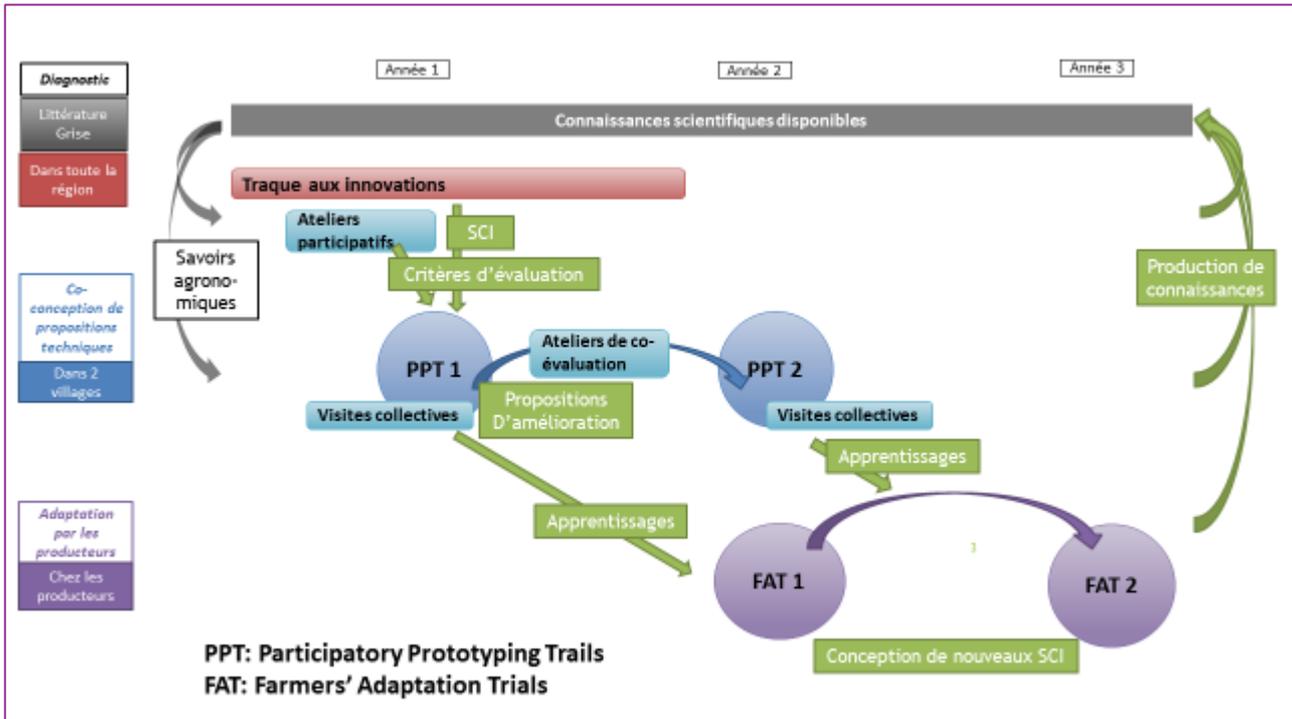


Figure 26: Schéma synthétique de l'articulation des différents outils utilisés dans notre approche. Ce qu'a produit chaque outil est synthétisé dans les cases vertes.

Une démarche qui s'appuie sur la mise en lumière des cas atypiques

La traque aux innovations (chapitre 1) a consisté en l'étude de pratiques existantes, mais rares, que nous avons rendues visibles. Salembier (2019) considère l'étude de pratiques innovantes, comme « un processus par lequel on cherche à faire émerger des **anomalies qui auraient un potentiel créateur** ». Dans notre logique de conception, les cas atypiques, les « anomalies » nous fournissent des solutions potentielles aux problèmes identifiés dans la zone. De manière similaire, dans le chapitre 2, les choix atypiques des producteurs, c'est-à-dire différents de ce qui était attendu par les agronomes, nous ont éclairés sur l'importance de certains critères de choix (e.g. l'agriculteur qui choisit un fourrage pour restaurer la fertilité de son sol, alors qu'il n'a que 2 bœufs).

Dans notre approche, nous avons considéré chaque cas comme un cas particulier, et avons réalisé des **regroupements pour expliquer, et non pour agir**. Les approches typologiques, largement promues aujourd'hui comme moyen d'adapter les propositions techniques à la diversité des producteurs, ont

tendance à gommer ces cas atypiques ou marginaux. Ainsi, l'étude de cas particuliers nous a permis une compréhension plus fine et complémentaire d'analyses plus globales : dans le chapitre 2, l'étude des critères de choix des producteurs nous apporte des éléments supplémentaires à l'analyse par type de producteurs. Dans le chapitre 3, des cas particuliers de « dynamiques d'adaptation » révèlent des informations importantes pour la compréhension de ces dynamiques. Comme le soulignent Eisenhardt and Graebner (2007), utiliser des preuves empiriques basées sur des études de cas peut permettre de prendre en compte le contexte complexe et réel dans lequel les processus se produisent, et de produire des connaissances riches et complémentaires à celles issues de la recherche déductive classique. Les cas atypiques se sont également révélés constituer des ressources pour l'accompagnement de la conception.

Nous avons cherché à **individualiser les solutions** techniques en laissant des marges de manœuvre aux producteurs, pour qu'ils trouvent la voie la plus adaptée à leur situation propre, propre sans pour autant que les agronomes n'aient à faire une étude approfondie de chaque exploitation agricole (chapitre 3). En ayant la possibilité de décider par eux-mêmes et la capacité technique de s'engager efficacement (Reed, 2008), les producteurs ont pu aller vers des systèmes adaptés à leurs circonstances propre. Dans notre démarche, le suivi individuel avait davantage un objectif de compréhension du processus de conception distribuée, que d'accompagnement technique des producteurs. D'ailleurs, une grande partie de l'accompagnement technique s'est fait avec les collectifs de producteurs, notamment lors des visites collectives sur les PPT (chapitre 1 et 2) plutôt que lors des entretiens individuels. Notre rôle a consisté à organiser ces visites collectives de manière à favoriser les échanges, à mettre en place un support concret de discussion (les PPT), à accompagner l'expérimentation individuelle en intervenant avec parcimonie et uniquement aux moments clés, et à réintroduire l'expérience individuelle dans les discussions collectives en année 2. Ainsi, l'expérience individuelle peut enrichir les discussions collectives et le collectif peut enrichir le processus de conception pas à pas individuel, par exemple en proposant des éléments de compréhension des résultats, ou en soumettant des solutions potentielles aux problèmes rencontrés.

En soumettant des innovations mises au point par des producteurs du territoire à l'évaluation collective d'autres producteurs, nous avons initié, au sein d'une grande diversité de systèmes de productions, la conception pas-à-pas de systèmes de culture adaptés à chaque situation individuelle.

1.1.2. Une démarche co-construite en interaction avec les producteurs

Une démarche souple et adaptable

La démarche a été ajustée au fur et à mesure de sa mise en œuvre, selon la situation. Cet ajustement est par exemple visible dans le changement de rôle des ateliers de co-conception par rapport à ce qui avait été prévu, et dans la manière dont nous avons fait évoluer l'organisation des visites collectives : nous sommes passés d'un groupe par visite, à plusieurs groupes, dont un exclusivement avec les femmes participantes de manière à pouvoir mieux distribuer la parole. Globalement, les ajustements ont été les mêmes dans les deux

villages malgré leurs différences (place du coton, pression foncière, collectifs différents...). Dans un autre contexte, les contraintes logistiques seraient différentes, par exemple avec la possibilité de joindre les producteurs facilement par téléphone, de donner des rendez-vous à des heures précises, ou sans la nécessité d'une traduction systématique, et les ajustements auraient été différents.

Lors des premiers ateliers en salle (les « ateliers participatifs »), nous avons constaté qu'un **support concret de discussion** était nécessaire pour obtenir des propositions des producteurs, notamment en terme de pratiques. Les PPT ont finalement joué ce rôle avec succès. En outre, lors des ateliers suivants (les « ateliers de co-évaluation »), nous avons introduit des supports visuels (photos imprimées, schéma sur des grandes feuilles...) à cet effet. Ces support pourraient être utilisés différemment dans un contexte ou le niveau d'alphabétisation des producteurs serait plus élevé (Reau et al., 2012). De même, selon les compétences et les moyens disponibles, les ateliers pourraient être enrichis avec l'aide de jeux sérieux, ayant pour rôle de mieux comprendre les critères d'évaluation des producteurs (Lairez et al., 2020).

Cette manière de construire la démarche avec les acteurs est caractéristique des démarches de **Recherche-Action en Partenariat (RAP)** que Faure et al. (2010) caractérisent par « un processus itératif où les différentes phases de recherche et d'action permettent de mettre à l'épreuve de façon systématique les hypothèses, les concepts, les méthodes, et les interprétations développées dans les cycles antérieurs, et de les affiner ou de les redéfinir ». Adapter la démarche selon les circonstances nécessite une analyse réflexive qui « permet d'affiner chemin faisant, la problématique et les hypothèses, de contribuer au changement, de piloter le dispositif, puis de l'évaluer » (Faure et al., 2010). Notre approche se situe dans le cadre de la RAP de par sa souplesse et son adaptabilité, et de par l'implication des producteurs dans le pilotage du dispositif. La possibilité d'ajuster les choix méthodologiques, de manière à favoriser une **bonne relation entre les producteurs et les chercheurs** (Soulard et al., 2007) ainsi que leur motivation (e.g. constitution des groupes, fréquence et période des activités de groupes et des entretiens, choix des parcelles pour les PPT...) constitue un des atouts de notre démarche.

Nous avons choisi de privilégier le suivi des critères d'évaluation des producteurs, par rapport à celui des critères d'évaluation agronomique classiques (productivité, rentabilité, quantification du travail...), ce qui a favorisé la **montée en capacité des producteurs ou « empowerment »** (Reed, 2008). Le fait d'encourager chaque producteur à adapter le système de culture sur son FAT, a abouti à une grande diversité de systèmes, dont il est devenu difficile de comparer les performances, faute d'un dispositif statistique approprié. Ainsi, nous proposons une démarche de mise à l'épreuve et de conception de systèmes de culture qui repose sur l'évaluation par les producteurs, mais n'inclue pas de procédure de quantification objective des rendements, comme les agronomes ont coutume de faire.

La posture de l'agronome

Nous avons considéré les producteurs comme des concepteurs, capables d'utiliser leurs connaissances et d'en construire de nouvelles pour adapter les pratiques nouvelles lors de leur mise en expérimentation. Cette manière d'appréhender le processus d'innovation s'inscrit dans le régime de conception 5 décrit par Salembier et al., 2018 : **l'agronome n'est pas celui qui conçoit, mais celui qui accompagne la conception par les producteurs**. Dans notre étude, les agronomes ont mis en place des outils et des espaces propices à nourrir la réflexion et les apprentissages collectifs et individuels des producteurs. Il s'agit d'un processus itératif dans lequel les propositions des agronomes (e.g. dans les PPT) stimulent la conception par les producteurs (e.g. dans les FAT), et vice versa (e.g. les ajustements des PPT2). De même, pour pouvoir adapter les systèmes, les agronomes ont appris des producteurs, et les producteurs des chercheurs.

Dans ce régime, les connaissances des producteurs ont autant d'importance que celles des agronomes. Ceux-ci ne doivent pas se positionner en tant qu'experts détenant « le » savoir mais plutôt favoriser les explorations et propositions collectives et individuelles, en produisant ou injectant les connaissances nécessaires aux moments opportuns (Salembier et al., 2018). Dans notre contexte d'étude, les producteurs ont l'habitude de travailler avec des « agronomes-experts » donnant des recommandations techniques. Pour les agronomes et pour les producteurs, s'extraire de leurs positions respectives ne s'est pas fait naturellement. Par exemple, les producteurs ont explicitement dit lors des ateliers participatifs de la première année: « c'est vous les experts, c'est à vous de proposer, pas à nous ». Ils ont également posé de nombreuses questions techniques lors des premières activités collectives afin de tester les connaissances agronomiques de l'équipe de recherche¹⁸. Il a donc fallu être attentifs à répondre aux questions des producteurs du mieux possible, c'est-à-dire de manière à éclairer leurs réflexions sans être prescriptifs, tout en gardant une crédibilité, essentielle pour assurer la légitimité du programme. Les producteurs attendaient des solutions, surtout pour le suivi des FAT, mais nous avons répondu par des connaissances ou des questions pouvant les aider à trouver la solution par eux-mêmes. D'un point de vue individuel, répondre à leurs questions par des questions a été plus facile pour moi que pour le technicien, car certaines questions pouvaient paraître naïves, et donc plus acceptables pour les producteurs lorsqu'elles venaient d'une jeune femme étrangère que d'un technicien Burkinabé. Les producteurs ne m'ont pas tenu rigueur de mes questions, qui ont pu leur paraître incongrues, et je pense qu'ils étaient curieux de savoir ce que j'avais à apporter.

La relation de confiance que nous avons établie avec les producteurs a sans doute été due aussi à notre **engagement sur le terrain**, et notre présence auprès d'eux. Le technicien vivait dans un village situé entre Boni et Founzan et se déplaçait dans chacun des villages plusieurs fois par semaine. Quant à moi, je m'y rendais quasiment chaque semaine pendant la saison de culture, et environ une fois par mois pendant

¹⁸ Constituée ici du technicien et de moi-même.

la saison sèche. Le technicien, Hamadou Zonou, a eu un rôle crucial : issu d'une famille paysanne, il parle le même « langage » que les producteurs, il vient d'une autre province, et n'avait pas de parti-pris pour un des deux villages. Hamadou Zonou a travaillé avec moi dès la traque aux innovations, et jusqu'aux dernières récoltes, il a donc pu suivre l'ensemble du processus, comprendre la démarche dans sa globalité, notamment notre position non prescriptive, et ainsi être force de proposition. N'ayant plus moi-même accès au terrain à la fin de la troisième année, à cause des problèmes sécuritaires, c'est lui qui a clôturé le projet avec les producteurs.

Lors de ces ateliers de clôture et des derniers entretiens effectués avec les producteurs, les producteurs ont déclaré avoir trouvé la démarche intéressante et innovante par rapport à d'autres projets : ils n'avaient pas l'habitude d'avoir autant de liberté dans leur choix, ce qui a pu en déstabiliser certains ; mais au final, tous considèrent avoir appris. Ils ont apprécié notre accompagnement et la manière dont nous avons organisé le suivi, notamment en terme de fréquence de nos visites sur leurs champs, et ont regretté que le programme s'arrête si vite. Une majorité des producteurs ayant mis en place un FAT2 ont déclaré qu'ils auraient aimé poursuivre une troisième année d'essai avec notre accompagnement.

En distribuant les prises de décisions pour la conception (conception pilotée par les agronomes dans les PPT et par les producteurs dans les FAT), **les rôles ont été redistribués** par rapport aux approches classiques de conception, dans lesquelles ce sont les agronomes et les chercheurs qui expérimentent et conçoivent pour les producteurs. De plus, comme le soulignent Sumberg et al. (2003), cette redistribution des rôles suggère que la recherche formelle pourrait être substituée par la recherche des agriculteurs. Cependant cette substitution ne peut être que partielle car, comme nous l'avons vu, les producteurs ont eu besoin de l'accompagnement des agronomes, et l'équipe de recherche a eu besoin de l'expérience des producteurs pour pouvoir concevoir. Ainsi, si dans notre approche la conception était distribuée entre agronomes et producteurs, elle a été alimentée par les **interactions constantes** entre ces deux types d'acteurs. La redistribution des rôles ne remet pas en question leur complémentarité (Sumberg et al., 2003), au contraire, mais appelle en revanche le développement de nouvelles compétences (Prost et al., 2018) qui permettraient aux agronomes de mieux accompagner la conception par les producteurs, et aux producteurs de mieux utiliser l'expérimentation pour concevoir.

Les producteurs au centre de la conception

Plutôt que de décider des meilleures pratiques et d'essayer de les transférer à grande échelle, nous aidons les producteurs à **trouver leurs propres solutions**, afin que celles-ci soient les plus pertinentes possible par rapport à leur situation particulière. Pour développer des solutions durables, il est important de laisser les producteurs choisir leurs propres solutions, même si ce ne sont pas celles correspondant à ce qui serait optimal du point de vue des « agronomes-experts » (Catalogna et al., 2018). En effet, les producteurs ayant une connaissance fine de leur environnement local, de leurs situations, de leurs priorités et de leurs critères d'évaluation, ils sont plus à même de trouver des solutions innovantes leur convenant qu'une

personne extérieure, même si celle-ci détient une connaissance fine et appropriée des processus biologiques et écologiques en jeu (Sumberg et al., 2003).

L'expérimentation, grâce à des **boucles d'apprentissage** et d'amélioration des systèmes testés, peut faciliter l'entrée des producteurs dans un processus de conception pas-à-pas (chapitre 3) leur permettant d'innover. En mettant eux-mêmes en œuvre les options techniques, les producteurs acquièrent des connaissances situées, qu'ils mobilisent pour s'approprier ces systèmes et les améliorer, mais qu'ils pourront également mobiliser pour la re-conception d'autres systèmes de culture (Toffolini et al., 2017). En expérimentant librement, les agriculteurs apprennent à gérer un système complexe, et ont également la possibilité d'acquérir des **connaissances sur la manière d'expérimenter pour concevoir**. En favorisant l'appropriation de connaissances sur les systèmes proposés et sur l'expérimentation elle-même, les FAT peuvent constituer des antécédents favorables à des changements techniques progressifs et solides (Lamine, 2011), et contribuer à construire la confiance nécessaire à l'engagement sur cette trajectoire de changement technique (Navarrete et al., 2018). En apportant des connaissances nouvelles, les agronomes contribuent à faciliter le changement technique (Sumberg et al., 2003).

Un autre élément de support du changement technique et de l'innovation est l'existence d'un **collectif de producteurs impliqué dans l'innovation**, permettant la production collective de connaissances et favorisant l'action individuelle par un soutien rassurant de la communauté (Dolinska and d'Aquino, 2016), comme c'était le cas dans notre étude. En effet, comme le soulignent Lamine (2011) et Mawois et al. (2019), l'existence de dynamiques collectives entre producteurs leur permettant de partager leurs difficultés, solutions et doutes est une condition importante pour assurer une transition vers des systèmes plus agro-écologiques.

Evaluation de la démarche : quels effets espérer ?

Le concept d'adoption est fréquemment au centre des efforts visant à mesurer les changements technologiques permis par les programmes de développement agricoles, ce qui conduit souvent à des conclusions partielles, inexactes et parfois trompeuses (Glover et al., 2016). En effet, les producteurs ayant tendance à adapter les pratiques proposées, il est difficile de définir lorsque ces pratiques sont adoptés ou non, bien qu'il y ait des adaptations méthodologiques possibles. De plus, la notion d'adoption passe sous silence les adaptations et apprentissages réalisés, et la temporalité de ces changements. Pour évaluer les effets de notre approche, il ne serait donc pas pertinent de mesurer l'adoption d'une technique car chaque producteur a mis en place un système différent. Cependant, s'il n'y a pas eu d'adoption à proprement parler, les producteurs se sont appropriés de nouvelles connaissances et nouveaux savoir-faire concernant les systèmes : **une dynamique de changement a été initiée**. Les connaissances actionnables acquises se sont traduites par différentes dynamiques d'adaptation des systèmes de culture (chapitre 3) pouvant constituer une première phase de trajectoires de changements (Chantre et al., 2015), qui se feront sur des pas de temps plus longs. Les dynamiques ainsi initiées, en passant par des successions d'adaptation simples (Deffontaines

et al., 2020), et favorisées par le collectif (Mawois et al., 2019), pourront aboutir à des changements importants.

Un aspect important sur lequel devrait être évaluée notre démarche, comme toute démarche participative, est l'« empowerment » individuel des acteurs (ici les producteurs) (Reed, 2008), c'est-à-dire le **renforcement de leurs capacités d'action et de leur autonomisation**. Dans notre cas d'étude, cela se traduirait par une meilleure capacité des producteurs à s'adapter au changement, à expérimenter par eux-mêmes, et à s'approprier les nouvelles pratiques. Si on considère l'échelle de Biggs (Partie 1, paragraphe 1.1.1.3), la relation collégiale dans laquelle nous nous situons, considérée comme la plus participative, est également celle qui permet la plus forte autonomisation, et donc la transformation des communautés impliquées (Lawrence, 2006). Pour qu'un changement s'engage, il est important de se concentrer sur les processus de capacitation et d'autonomisation des producteurs, au-delà de la simple adoption de solutions techniques (Friis-Hansen and Duveskog, 2012). D'après Reed (2008), une participation appropriée, c'est-à-dire mettant l'accent sur l'autonomisation, l'équité, la confiance et l'apprentissage des parties prenantes peut améliorer la qualité des décisions prises par les acteurs concernés. L'amélioration de la capacité d'innovation des producteurs constitue un des principaux impacts recherchés dans notre approche, mais est difficile à apprécier. Une piste de recherche restant ouverte est celle de la formalisation d'indicateurs permettant de mesurer et de caractériser la montée en capacité des acteurs.

Par une méthode scientifique inductive à visée transformative, dans laquelle le chercheur est inclus puisqu'à la fois observateur, enquêteur, animateur, voire conseiller, nous avons conçu de manière participative une démarche de conception plaçant le producteur en posture de concepteur.

1.1.3. Une variété de systèmes de culture, adaptée à la diversité et au dynamisme des systèmes de production

Des ICS flexibles, adaptables par les producteurs

Une multitude de systèmes de culture ont été conçus par les producteurs à partir de 7 ICS que, par commodité, nous avons classé en trois types:

-**Les associations sorgho légumineuses** avec l'association sorgho-arachide et l'association sorgho-soja ont été les systèmes les plus adaptés par les producteurs. Les associations mises en place dans les PPT étaient inspirées de systèmes étudiés lors de la traque aux associations (ICS 1, « association sorgho-légumineuses en rotation avec coton ou maïs », chapitre 1) dans lesquels les deux espèces étaient associées en inter-poquet, afin d'avoir une association additive dans laquelle le sorgho était généralement la culture principale. Après deux années d'adaptation par les producteurs, les systèmes conçus sont en majorité des associations en interligne dans lesquelles la légumineuse est la culture principale. Alors que les producteurs innovants (« innovative farmers » du chapitre 1) avaient comme critère d'évaluation une forte productivité à l'hectare par une densité de semis élevée (chapitre 1), la majeure partie des producteurs des FAT avaient

pour priorité la production de légumineuse pour restaurer la fertilité du sol et pour la valorisation de la production (chapitre 2). Ces évolutions dans les critères se sont révélées de manière progressive, les critères formulés lors des visites étaient proches de ceux des producteurs innovants (chapitre 1), mais les producteurs s'en sont écartés lors de la mise en place des associations dans les FAT (chapitre 3). Les producteurs ont adapté les systèmes selon leurs critères d'évaluation et les connaissances situées actionnables acquises lors de visites de PPT et de la mise en place des FAT. Sur les 39 producteurs ayant mis en place un FAT1, 19 ont choisi une association sorgho-légumineuse, dont 10 ont continué sur le FAT2.

-**Les successions intra-annuelles** avec la succession niébé rouge/niébé blanc et la succession niébé rouge/maïs sont issues de systèmes étudiés lors de la traque aux innovation (ICS3 « niébé rouge en succession intra-annuelle avec une culture de production de biomasse », chapitre 1). Ces systèmes sont ceux ayant le moins bien réussi dans les PPT, car les semis n'ont pas pu être effectués suffisamment tôt, et ceux qui ont été le plus souvent abandonnés par les producteurs entre les FAT1 et les FAT2, principalement pour les mêmes raisons : peu de producteurs ont pu semer suffisamment tôt pour avoir une production de biomasse de la deuxième culture qui soit intéressante. Sur les 39 producteurs ayant mis en place un FAT1, 6 ont testé une succession intra-annuelle, et aucun n'a continué la succession une deuxième année (FAT2).

-**Les fourrages** avec le pois d'Angole seul et le Mucuna seul en rotation avec du maïs ou du coton, et le Mucuna en relais du maïs. Alors que les deux premiers ICS ont été inspirés par la traque (respectivement ICS 4 « Mucuna en rotation avec maïs », et ICS 5 « pois d'Angole en rotation avec maïs »), le troisième est une proposition des agronomes. Le Mucuna et le pois d'Angole étant moins connus des producteurs, ces ICS ont été relativement peu adaptés par les producteurs, mais ont suscité l'intérêt de ces derniers : en plus de permettre la production en quantité d'un fourrage de qualité, le Mucuna et le pois d'Angole constituent de bon précédents au maïs (Azontonde et al., 1998, Kiemdé, 2017) et les producteurs l'ont constaté lors des visites sur les PPT2. Sur les 39 producteurs ayant mis en place un FAT1, 14 ont testé un fourrage, et la majorité a continué en année 2 (chapitre 2).

Sur la durée du programme (3 saisons de cultures), l'expérience acquise sur les ICS testés a permis aux producteurs de **changer leur perception des légumineuses**. Par exemple, les producteurs ont constaté l'intérêt des légumineuses pour améliorer la fertilité du sol, en comparant les effets précédents des différentes légumineuses sur le maïs (notamment dans les PPT2), et en observant une diminution du Striga en présence des légumineuses. En testant des légumineuses, les producteurs ont également réalisé l'intérêt des produits récoltés : alimentation du ménage pendant la période de soudure, alimentation des bovins, production à forte valeur ajoutée sur le marché (Muoni et al., 2019). Grâce à la diversité des ICS proposés dans les PPT, les producteurs ont pu constater les aspects multi-usages et multi-services des légumineuses (Vanlauwe et al., 2019).

Par la conception pas-à-pas dans les PPT (changement apportés entre les PPT1 et les PPT2) et dans les FAT, ils ont pu constater **l'adaptabilité et la flexibilité de certains de ces systèmes**. L'adaptabilité correspond à la diversité des possibilités d'adaptation des systèmes. Parmi les ICS proposés, les associations

sont les plus adaptables. Ainsi, si l'on considère uniquement les modalités de semis, on constate des possibilités très diverses : interligne, inter-poquet, les deux espèces semées le même jour ou avec un décalage, variabilité dans les densités relatives, etc. La flexibilité correspond plutôt à la capacité du système de culture à maintenir ses performances face à des aléas. Il s'agit là d'un atout essentiel, comme le confirme à contrario le cas des successions intra-annuelles, qui ont eu peu de succès à cause de leur manque de flexibilité face au retard du semis du niébé rouge. Ces caractéristiques d'adaptabilité et de flexibilité des systèmes facilitent grandement leur appropriation par les producteurs (Toffolini et al., 2019), en autorisant des ajustements permettant de répondre aux dynamiques sociétales et agricoles (Darnhofer et al., 2010). Les systèmes proposés aux producteurs leurs ont permis de faire face à la variabilité de leurs conditions et de leurs critères d'évaluation, à la fois par ce caractère d'adaptabilité de chaque option technique, mais également par la diversité des option techniques proposées (Darnhofer et al., 2010).

Des innovations de rupture compatibles avec le système sociotechnique dominant

Les innovations sur lesquelles nous avons travaillé ne sont pas en réelle rupture par rapport au **système sociotechnique dominant** (cf. paragraphe 1.2.1 de la problématique) : elles ne remettent pas en question la prédominance du maïs et du coton, ne nécessitent pas d'investissement spécifique (matériel ou animaux de trait), et sont compatibles avec la tradition de la vaine pâture de saison sèche. Hormis le Mucuna en relais du maïs, toutes les innovations sont inspirées des systèmes mis en place par des producteurs innovants de la zone cotonnière (chapitre 1). Comme souligné par Blanchard et al. (2017), même si les producteurs innovants mettent en place des pratiques qui ne sont pas en rupture avec le système dominant, ces pratiques leur permettent cependant de répondre à de nouveaux objectifs et critères d'évaluation. Certaines innovations peuvent permettre d'anticiper des problèmes que les producteurs sont sur le point de devoir résoudre, par exemple concernant l'augmentation de la pression foncière (Jahel et al., 2018) à laquelle des réponses possibles seront l'intensification de l'élevage grâce à des cultures fourragères, et une meilleure gestion intégrée de la fertilité du sol. Nous avons constaté, chemin faisant, une évolution des critères d'évaluation et des objectifs des producteurs. Par exemple, notre intervention a permis un glissement de critères plutôt économiques vers des critères liés à la fertilité du sol. Nous avons également introduit de nouvelles espèces de légumineuses, quasiment inconnues des producteurs et donc en rupture avec les systèmes qu'ils connaissent : les systèmes à base de Mucuna ou de pois d'Angole sont davantage en rupture que les associations sorgho-légumineuses. En effet, les associations sont connues dans le référentiel technique des producteurs, car cette pratique n'a disparu que récemment sous pression du modèle d'intensification en monoculture. Les associations proposées sur les PPT sont très différentes des associations traditionnelles (chapitre 1), et même en rupture avec elles car beaucoup plus denses et permettant le sarclage en traction animale, cependant certains producteurs peuvent y voir un retour en arrière par rapport au modèle actuel d'intensification.

Du point de vue des producteurs, on peut considérer que le développement des légumineuses constitue une rupture par rapport au modèle des monocultures de maïs et de coton, même si cette rupture est relative selon les espèces de légumineuses, et si celle-ci reste compatible avec le système sociotechnique de la zone cotonnière.

En nous appuyant sur des innovations adaptables par les producteurs, notre démarche nous a permis de rentrer dans un processus de conception innovante compatible avec un système sociotechnique relativement verrouillé.

1.2. Implications pratiques et perspectives

1.2.1. Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle, et Transition agro-écologique

Dans le cadre du projet SANTE (Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle et Transition agro-écologique) faisant partie du Meta-programme GloFoodS (Inra-Cirad), qui a financé une partie du travail de terrain, nous nous sommes appliqués à comprendre l'intérêt de notre démarche et des ICS mis en place pour accompagner la transition agro-écologique et la sécurité alimentaire et nutritionnelle dans la zone cotonnière.

Des systèmes de culture innovants pertinents pour accompagner la transition agroécologique

En participant à une bonne **gestion intégrée de la fertilité des sol**, notamment par la fixation d'azote (Giller, 2001), et la lutte contre le Striga (Khan et al., 2006), ainsi qu'à la diversification de l'alimentation des ménages (Kerr et al., 2007), la diversification des systèmes de culture avec des légumineuses constitue une pratique-clé de l'agroécologie, au sens de Francis et al., 2003. Afin de rester dans la paradigme agroécologique, tout prenant en compte les objectifs et contraintes de chaque producteur, il s'agit de veiller à limiter l'augmentation du travail que les légumineuses peuvent induire, et s'assurer de la possibilité de valoriser la production de manière économiquement durable (Kerr et al., 2007, Vanlauwe et al., 2019).

Pour rendre possible **l'application des principes agroécologiques**, il est nécessaire de disposer de connaissances suffisantes et mobilisables sur les processus agro-écologiques (Toffolini et al., 2019), et des moyens humains et matériels (équipement, matériel génétique...) à leur application (Salembier et al., 2020). Il est également fondamental que les producteurs s'approprient ces connaissances (Toffolini et al., 2019) comme nous avons tâché de le faire dans cette étude. De nombreuses recherches portent sur l'étude des principes agro-écologiques et leur application (Doré et al., 2011), y compris au Sud (Côte et al., 2018 ; Vanlauwe et al., 2019). Cependant, l'accès aux ressources nécessaires au changement, comme nous l'avons vu avec les difficultés d'accès aux semences de Mucuna et de pois d'Angole, avec le manque d'équipement adapté aux associations, ou avec l'accès des femmes à la terre et à la traction animale, reste un levier important à travailler, surtout dans la petite agriculture familiale (Altieri, 2002, Vanlauwe et al., 2019). Des pistes allant dans ce sens sont proposées paragraphe 1.2.2.

Des ICS intéressants pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle de la région

Le fait que les légumineuses peuvent participer la **diversification de l'alimentation** et à la sécurité alimentaire, notamment en période de soudure avec les espèces et variétés précoces, est pour les producteurs un critère important d'évaluation (chapitre 1) et de choix (chapitre 2) des ICS proposés dans notre étude. La littérature confirme cet atout des légumineuses, pour la diversification de l'alimentation des ménages pauvres (Rajendran et al., 2017) et pour l'apport de protéines de bonne qualité (De Jager et al., 2019). Le soja, souvent consommé dans les ménages ruraux du Burkina Faso sous forme de condiment, et remplaçant le « soubala » fait à partir de graines de néré, est particulièrement intéressant en terme de valeur nutritionnelle (8 des 9 acides aminés essentiels, bonne teneur en fer et en calcium...) et a donc un bon potentiel pour enrichir les produit locaux (Hama-Ba et al., 2017). Dans notre étude, la possibilité de produire du soubala avec le soja faisait partie des critères de choix de l'association sorgho soja.

Cependant, comme le montrent Lourme-Ruiz et al., 2016 au Burkina Faso, **le contrôle des ressources par les femmes** est un élément clé de la qualité de l'alimentation du ménage. Or les femmes ont en général un accès plus difficile aux services de conseils (Ragasa et al., 2013). Notre étude ne fait pas exception, nous avons rencontré des difficultés à inclure durablement les individus les plus pauvres ou marginalisés. Il y a là des pistes intéressantes à explorer pour de futures recherches : Comment mieux accompagner les femmes ? Comment cela peut-il participer à l'amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages ?

En accompagnant les producteurs vers la diversification de leur système de culture en intégrant davantage de légumineuses, notre démarche est pertinente pour contribuer à la transition agro-écologique et à une amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Afrique de l'Ouest. Cependant, mieux inclure les femmes permettrait d'aller plus loin dans cette direction.

1.2.2. Mise en œuvre de l'approche dans une optique de développement

Explorer et sortir de la sphère agricole

Notre démarche est centrée sur la sphère agricole. Il reste de nombreuses pistes à explorer au sein de cette sphère. Par exemple, on pourrait aller plus loin en termes de **diversification**, en introduisant d'autres espèces de légumineuses, telle que la dolique (*Dolichos Lablab*) qui permet la production d'un fourrage de qualité, tout en ayant des graines comestibles (Minde et al., 2020), ou le haricot mungo (*Vigna radiata*), bien adapté à la zone et permettant de produire assez facilement des graines nutritionnellement intéressantes (Ebert, 2014). De même, on pourrait envisager d'introduire des variétés permettant de faciliter la gestion des systèmes de culture. Par exemple, certaines variétés de *Mucuna* sont moins agressives que la variété utilisée dans cette étude et pourraient être intéressantes pour le relais avec le maïs (Coulibaly et al., 2012), et l'introduction de variétés de soja et de niébé très érigées pourrait faciliter l'utilisation de la traction animale dans les associations.

Nous n'avons pas exploré ces options car nous avons travaillé avec le matériel génétique le plus facilement disponible localement, y compris pour le Mucuna (semences achetées à un semencier à Bobo Dioulasso), et le pois d'Angole (semences fournies par l'INERA). Introduire de nouvelles espèces et variétés, demanderait un travail sur l'accès aux semences, et sur les débouchés pour la production, ce qui signifie sortir de la sphère agricole en travaillant sur **la filière** amont et aval afin de limiter le risque de non adoption par les producteurs. De même, il serait intéressant de travailler sur des équipements facilitant la gestion des adventices dans les associations, mais ces équipements ne sont pas disponibles localement. Ainsi, comme le souligne Lamine (2011), développer des interactions fortes avec la sphère non-agricole et avec la distribution et la consommation alimentaire, fait partie des conditions favorables à l'innovation. Comme nous allons le voir, cela peut se faire de différentes manières.

L'innovation couplée

D'après Meynard et Jeuffroy (2021), « les « **innovations couplées** » sont des nouveautés conçues de manière coordonnée, alors qu'elles relèvent de domaines d'innovation habituellement gérés de manière indépendante. On peut ainsi coupler la conception des systèmes agricoles avec celle d'innovations alimentaires en travaillant sur les filières (Meynard et al., 2017), ou avec des innovations concernant les moyens de production, tel que les équipements (Salembier et al., 2020). Comme le montre Meynard et al. (2017), ce type d'innovation est particulièrement intéressant à mettre en place dans un système verrouillé comme celui de la zone cotonnière du Burkina Faso. En effet, un des frein importants au développement et à l'intensification des légumineuses est souvent le manque d'accès au marché pour se procurer les intrants nécessaires, dont les semences, et pour la vente de la production (Muoni et al., 2019). Dans notre cas d'étude, c'est particulièrement vrai pour les espèces nouvelles pour la zone, telles que le Mucuna et le pois d'Angole.

Comme il a été possible de coupler la conception de systèmes de culture avec celle d'équipements (Salembier et al., 2020), il serait envisageable de coupler la conception des systèmes de cultures avec celle de services, voire de modes de gestion des ressources communes (biomasse, foncier, irrigation...). Par exemple, en Afrique de l'Ouest, la conception de systèmes de culture, jusqu'alors incompatibles avec la vaine pâture (cas des systèmes de culture sous couverture végétale, SCV) pourrait être couplée avec des innovations organisationnelles de gestion du territoire (Dugué and Olin Bassala, 2015).

Travailler avec les acteurs locaux du développement

Dans notre étude, nous avons travaillé avec les **agents du ministère** lors de la traque aux innovations, durant laquelle ils nous ont aidé à rencontrer des producteurs innovant, puis les avons invités régulièrement lors des activités collectives. Cependant, leur posture de conseillers-experts était peu compatible avec notre posture d'animateur et accompagnant de la conception. Pour faciliter le passage dans l'usage des ICS à base de légumineuses, il nous semble important de travailler davantage avec les acteurs locaux du développement en les formant à accompagner les producteurs dans la conception de leurs propres systèmes. La mise en place de PPT dans lesquels les systèmes évolueraient selon les propositions des producteurs, comme cela se

fait dans les champs-écoles (Braun and Duveskog, 2011, Bakker et al., 2021), pourraient aider les conseillers agricoles à changer de posture. Cela ne serait probablement pas suffisant dans de nombreux contextes où il faudrait également revoir la formation des conseillers et la manière dont les projets sont conçus.

Ce **changement de posture** ne sera pas facilité par le contexte de la zone cotonnière, où la SOFITEX a imposé sa vision depuis sa création, via ses propres conseillers, sur la manière de cultiver le coton (cultivars, densités de semis, dose d'engrais, application des produits phytosanitaires...). La spécialisation des exploitations sur la production du coton (Guenot and Huchet-Bourdon, 2014) a d'ailleurs contribué à la disparition des légumineuses des champs de grandes cultures dans la zone. Dans ce contexte, les producteurs et les conseillers ont l'habitude des méthodes prescriptives. Ainsi, **le secteur privé et les politiques publiques** peuvent également jouer un rôle dans l'accompagnement de la transition agroécologique, par exemple en encourageant la diversification des exploitations ou via le marché et les prix (Adenle et al., 2019).

Besoin d'accompagner la conception pas-à-pas sur un temps plus long

Notre démarche nous a permis d'initier des changements, mais ceux-ci doivent se poursuivre. **Nous ne sommes qu'au début d'un processus d'innovation qui sera nécessairement long.** Le pas de temps court de notre étude (3 ans) constitue une de ses limites. Cependant, nous pensons que le processus initié pourra se poursuivre sans notre présence, sur la base (i) des innovations appropriables par les producteurs que nous avons introduites dans les deux villages, innovations qui ne nécessitent pas de changement dans l'accès aux ressources ou dans le système sociotechnique, (ii) des capacités de conception pas-à-pas acquises par les producteurs, et (iii) de la dynamique collective engagée, qui pourra contribuer à la durabilité du processus (Lamine, 2011, Chantre et al., 2015). La dynamique collective pourrait se poursuivre de différentes manières telles que le maintien d'un espace collectif de test, ce qui demanderait à minima un appui technique et logistique pour fonctionner, ou plus simplement des échanges plus ou moins formels autour des expériences individuelles. De plus, en constituant un antécédent favorable à une « re-conception rapide » (Lamine, 2011), on peut penser que le travail effectué avec les producteurs pourra leur permettre de changer de pratiques et de s'adapter plus facilement à de nouvelles conditions (Deffontaines et al., 2020).

Cela étant, il serait important, pour poursuivre la **production de connaissances** sur la conception permise par notre démarche, d'analyser, dans 5 à 10 ans, les trajectoires de changement des producteurs qui ont participé à notre étude.

Notre approche apparaît pertinente pour contribuer à la transition agro-écologique. Pour permettre des changements importants, il serait intéressant de coupler les processus d'innovations engendrés par notre approche avec des innovations à d'autres échelles (territoire, marché, filières, politiques publiques) et de collaborer avec les autres acteurs en lien avec le secteur agricole (conseillers, ONG, secteur privé et public...), et ce sur un temps suffisamment long.

2. Conclusion générale

En nous appuyant concrètement sur la traque aux innovations pour initier un processus de conception distribuée entre les agronomes et les producteurs, nous avons développé de manière participative une démarche originale et innovante d'accompagnement de la conception par les producteurs du Sud. Le processus de conception distribué lui-même nous paraît novateur : les agronomes ont animé la conception des systèmes de culture innovants dans des essais de prototypage participatifs, adaptés en fonction des propositions des producteurs ; les producteurs ont quant à eux pu concevoir dans leurs parcelles d'expérimentation en adaptant les systèmes à leurs propres conditions. En outre, cette démarche a été mise en place dans un contexte doublement contraint, que ce soit par l'importance de la filière coton ou par la précarité des petites exploitations familiales de la zone.

Ainsi, ce travail de thèse doctorale débouche sur (i) la conception participative d'une démarche de conception, (ii) la conception d'une multitude de systèmes de culture adaptés à chaque producteur-concepteur, et (iii) la production de connaissances sur les processus de conception par et pour les producteurs d'Afrique de l'Ouest.

Cependant, afin de comprendre dans quelle mesure la démarche est réellement source d'innovation, il serait intéressant d'en faire une évaluation dans 5 à 10 ans.

Dans ce travail, nous avons impliqué les producteurs dans le processus de conception de manière à sortir du paradigme « la recherche conçoit et transfère, les producteurs appliquent ». Sortir de ce paradigme est d'autant plus indispensable que l'on cherche à travailler sur des objets complexes que sont les systèmes de culture agroécologiques. Pour aller plus loin dans le développement d'innovations répondant à la fois aux critères d'évaluation et aux contraintes et objectifs des producteurs, et à des objectifs de durabilité sur le long terme, il nous paraît important d'ouvrir ce travail de conception à tous les acteurs du développement rural (acteurs des filières amont pour les intrants et aval pour la vente des produits, fabricant d'équipement, conseillers agricoles, ONG...). Il nous semble également primordial de prendre en considération les différentes échelles, de l'échelle de la parcelle à celle du territoire. Ainsi, il conviendrait de faire évoluer de manière coordonnée les logiques d'action individuelles et les formes d'organisation territoriale par de la conception couplée. Co-concevoir de nouvelles manière de gérer les ressources naturelles (foncier, biomasse, eau pour l'irrigation...), et d'interagir avec les marchés, les filières et les acteurs politiques, peut participer à lever de manière participative certains verrous du système dominant. Cela permettrait de faire émerger des conditions favorables à des systèmes plus en rupture que ceux sur lesquels nous avons travaillé, et aller plus loin dans la transition agroécologique. Ce travail sera d'autant plus pertinent et efficace qu'il sera mené en interdisciplinarité, notamment pour les questions sur les enjeux territoriaux ou les analyses des freins du changement technique aux différentes échelles, et participera à répondre à des questions de recherche sur les processus de conception par les acteurs de terrain, encore peu explorés au Sud.

Références

- Aare, A.K., Cooreman, H., Garayoa, C.V., Arrieta, E.S., Bellostas, N., Marchand, F., Hauggaard-Nielsen, H., 2020. Methodological Reflections on Monitoring Interactive Knowledge Creation during Farming Demonstrations by Means of Surveys and Observations. *Sustainability* 12, 5739. <https://doi.org/10.3390/su12145739>
- Adenle, A.A., Wedig, K., Azadi, H., 2019. Sustainable agriculture and food security in Africa: The role of innovative technologies and international organizations. *Technology in Society* 58, 101143. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.05.007>
- Ajakaiye, O., de Janvry, A., 2010. Agricultural Sector Performance and a Green Revolution in Africa: An Overview. *J Afr Econ* 19, ii3–ii6. <https://doi.org/10.1093/jae/ejq021>
- Altieri, M.A., 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93, 1–24. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3)
- Altieri, M.A., Lana, M.A., Bittencourt, H.V., Kieling, A.S., Comin, J.J., Lovato, P.E., 2011. Enhancing Crop Productivity via Weed Suppression in Organic No-Till Cropping Systems in Santa Catarina, Brazil. *Journal of Sustainable Agriculture* 35, 855–869. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.588998>
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M.A., 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for sustainable development* 35, 869–890.
- Alvarez, S., Timler, C.J., Michalscheck, M., Paas, W., Descheemaeker, K., Tittonell, P., Andersson, J.A., Groot, J.C.J., 2018. Capturing farm diversity with hypothesis-based typologies: An innovative methodological framework for farming system typology development. *PLOS ONE* 13, e0194757. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194757>
- Amudavi, D.M., Khan, Z.R., Wanyama, J.M., Midega, C.A.O., Pittchar, J., Hassanali, A., Pickett, J.A., 2009. Evaluation of farmers' field days as a dissemination tool for push-pull technology in Western Kenya. *Crop Protection* 28, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.10.008>
- Andrieu, N., Descheemaeker, K., Sanou, T., Chia, E., 2015. Effects of technical interventions on flexibility of farming systems in Burkina Faso: Lessons for the design of innovations in West Africa. *Agricultural Systems* 136, 125–137. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.02.010>
- Ashby, J.A., 1987. The effects of different types of farmer participation on the management of on-farm trials. *Agricultural Administration and Extension* 25, 235–252. [https://doi.org/10.1016/0269-7475\(87\)90079-1](https://doi.org/10.1016/0269-7475(87)90079-1)
- Audouin, S., Gazull, L., Gautier, D., 2018. Territory matters: Exploring the functioning of an innovation system through the filter of local territorial practices - the example of the adoption of cashew trees in Burkina Faso. *Journal of Rural Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.08.007>
- Azontonde, A., Feller, C., Ganry, F., Remy, J.C., 1998. La mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au Sud du Bénin. *Agriculture et Développement*.
- Bado, B.V., Bationo, A., Cescas, M.P., 2006. Assessment of cowpea and groundnut contributions to soil fertility and succeeding sorghum yields in the Guinean savannah zone of Burkina Faso (West Africa). *Biol Fertil Soils* 43, 171–176. <https://doi.org/10.1007/s00374-006-0076-7>
- Bainville, S., 2017. Land rights issues in Africa: the contribution of agrarian systems research in Burkina Faso. *Journal of Peasant Studies* 44, 261–285. <https://doi.org/10.1080/03066150.2016.1170010>
- BAINVILLE, S., 2009. DIVERSITE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES EN ZONE COTONNIERE DU BURKINA FASO 56.
- Bakker, T., Blundo Canto, G., Dugué, P., de Tourdonnet, S., 2021. To what extent is the diversity of Farmer Field Schools reflected in their assessment? A literature review. *Journal of Agricultural Education and Extension*.
- Bazie, Y.G., Cotty, T.L., D'hôtel, É.M., Ouattara, D.O., Sanou, A., 2020. Pourquoi une relation positive entre taille des exploitations et productivité au Burkina Faso ? *Economie rurale* n° 371, 37–58.
- Berre, D., Baudron, F., Kassie, M., Craufurd, P., Lopez-Ridaura, S., 2019. DIFFERENT WAYS TO CUT A CAKE: COMPARING EXPERT-BASED AND STATISTICAL TYPOLOGIES TO TARGET SUSTAINABLE INTENSIFICATION TECHNOLOGIES, A CASE-STUDY IN SOUTHERN ETHIOPIA. *Ex. Agric.* 55, 191–207. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000727>

- Berthet, E.T.A., Barnaud, C., Girard, N., Labatut, J., Martin, G., 2016. How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *Journal of Environmental Planning and Management* 59, 280–301.
- Birner, R., Davis, K., Pender, J., Nkonya, E., Anandajayasekeram, P., Ekboir, J., Mbabu, A., Spielman, D.J., Horna, D., Benin, S., Cohen, M., 2009. From Best Practice to Best Fit: A Framework for Designing and Analyzing Pluralistic Agricultural Advisory Services Worldwide. *The Journal of Agricultural Education and Extension* 15, 341–355. <https://doi.org/10.1080/13892240903309595>
- Blanchard, M., Vall, É., Loumbana, B.T., Meynard, J.-M., 2017. Identification, caractérisation et évaluation des pratiques atypiques de gestion des fumures organiques au Burkina Faso : sources d'innovation ? *Autrepart* N° 81, 115–134.
- Bossuet, J., Vadez, V., 2013. S'appuyer sur les multiples bénéfices des légumineuses à graines pour une agriculture plus productive et nutritive dans les tropiques semi-arides (Relying on the numerous advantages of grain legumes for more productive and nutritive agriculture in the semi-arid tropics). *Secheresse* 24, 314–321.
- Bradley, E.H., Curry, L.A., Ramanadhan, S., Rowe, L., Nembhard, I.M., Krumholz, H.M., 2009. Research in action: using positive deviance to improve quality of health care. *Implementation Science* 4, 25. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-4-25>
- Braun, A., Duveskog, D., 2011. The farmer field school approach—history, global assessment and success stories. Background paper for the IFAD Rural poverty report.
- Busquet, M.B., 2006. Des stratégies intégrées durables : savoir écologique traditionnel et gestion adaptative des espaces et des ressources. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.2279>
- Campo, P.C., Bousquet, F., Villanueva, T.R., 2010. Modelling with stakeholders within a development project. *Environmental Modelling & Software, Thematic Issue - Modelling with Stakeholders* 25, 1302–1321. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.01.005>
- Catalogna, M., Dubois, M., Navarrete, M., 2018. Diversity of experimentation by farmers engaged in agroecology. *Agronomy for Sustainable Development* 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0526-2>
- Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., Meynard, J.-M., 2012. Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 899–910. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0091-z>
- Chantre, E., 2013. L'apprentissage des agriculteurs en transition agroenvironnementale. *Pour* N° 219, 141–150.
- Chantre, E., Cardona, A., 2014. Trajectories of French Field Crop Farmers Moving Toward Sustainable Farming Practices: Change, Learning, and Links with the Advisory Services. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 38, 573–602. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.876483>
- Chantre, E., Cerf, M., Le Bail, M., 2015. Transitional pathways towards input reduction on French field crop farms. *International Journal of Agricultural Sustainability* 13, 69–86. <https://doi.org/10.1080/14735903.2014.945316>
- Chivasa, W., Harris, D., Chiduzo, C., Nyamudeza, P., Mashingaidze, A.B., 1998. Agronomic practices, major crops and farmers' perceptions of the importance of good stand establishment in Musikavanhu Communal Area, Zimbabwe.
- Cochet, H., 2015. "Agrarian System", Integrating Concept of Comparative Agriculture, in: Cochet, H. (Ed.), *Comparative Agriculture*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 19–52. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9828-0_3
- Compagnone, C., Lamine, C., Dupré, L., 2018. La production et la circulation des connaissances en agriculture interrogées par l'agro-écologie: De l'ancien et du nouveau. *Revue d'anthropologie des connaissances* 12,2, 111. <https://doi.org/10.3917/rac.039.0111>
- Corbeels, M., de 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 & Environment* 187, 155–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.011>
- Côte, F.-X., Poirier-Magona, E., Perret, S., Rapidel, B., Roudier, P., Thirion, M.-C., 2018. La transition agro-écologique des agricultures du Sud, Quae. ed.

- Coulibaly, K., Vall, E., Autfray, P., Nacro, H., Sedogo, M., 2012. Effets de la culture permanente coton-maïs sur l'évolution d'indicateurs de fertilité des sols de l'Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i3.13>
- Coulibaly, K., Vall, E., Blanchard, M., Autfray, P., 2011. Expérimenter à l'échelle de la parcelle paysanne pour concevoir des itinéraires techniques innovants: quelle méthode de traitement des données? Cas du travail du sol en sec, Province du Tuy, Burkina Faso, in: *Partenariat, Modélisation, Expérimentations: Quelles Leçons Pour La Conception de l'innovation et l'intensification Écologique?* Cirad, pp. 8–p.
- Cowan, R., Gunby, P., 1996. Sprayed to Death: Path Dependence, Lock-in and Pest Control Strategies. *Econ J* 106, 521–542. <https://doi.org/10.2307/2235561>
- Crews, T.E., Peoples, M.B., 2004. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 102, 279–297. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.018>
- Dabat, M.-H., Lahmar, R., Guissou, R., 2012. La culture du niébé au Burkina Faso : une voie d'adaptation de la petite agriculture à son environnement ?, *Growing cowpea in Burkina Faso: a pathway for small-scale farming contextual adaptation?* *Autrepart* 95–114. <https://doi.org/10.3917/autr.062.0095>
- Dabire, D., Andrieu, N., Djamen, P., Coulibaly, K., Posthumus, H., Diallo, A.M., Karambiri, M., Douzet, J.-M., Triomphe, B., 2017. Operationalizing an innovation platform approach for community-based participatory research on conservation agriculture in Burkina Faso. *Experimental Agriculture* 53, 460–479. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000636>
- Darnhofer, I., Bellon, S., Dedieu, B., Milestad, R., 2010. Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 545–555. <https://doi.org/10.1051/agro/2009053>
- Darré, J.-P., Le Guen, R., Lemery, B., 1989. Changement technique et structure professionnelle locale en agriculture. *Économie rurale* 192, 115–122. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1989.4004>
- Darses, F., Falzon, P., 1994. LA CONCEPTION COLLECTIVE : UNE APPROCHE DE L'ERGONOMIE COGNITIVE 12.
- Davies, J., Maru, Y., Hall, A., Abdourhamane, I.K., Adegbedi, A., Carberry, P., Dorai, K., Ennin, S.A., Etwire, P.M., McMillan, L., Njoya, A., Ouedraogo, S., Traoré, A., Traoré-Gué, N.J., Watson, I., 2017. Understanding innovation platform effectiveness through experiences from west and central Africa. *Agricultural Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.014>
- Dawson, N., Martin, A., Sikor, T., 2016. Green Revolution in Sub-Saharan Africa: Implications of Imposed Innovation for the Wellbeing of Rural Smallholders. *World Development* 78, 204–218. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.008>
- De Groote, H., Rutto, E., Odhiambo, G., Kanampiu, F., Khan, Z., Coe, R., Vanlauwe, B., 2010. Participatory evaluation of integrated pest and soil fertility management options using ordered categorical data analysis. *Agricultural Systems* 103, 233–244. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.12.005>
- De Jager, I., Borgonjen-van den Berg, K.J., Giller, K.E., Brouwer, I.D., 2019. Current and potential role of grain legumes on protein and micronutrient adequacy of the diet of rural Ghanaian infants and young children: using linear programming. *Nutr J* 18, 12. <https://doi.org/10.1186/s12937-019-0435-5>
- Deffontaines, L., Mottes, C., Della Rossa, P., Lesueur-Jannoyer, M., Cattan, P., Le Bail, M., 2020. How farmers learn to change their weed management practices: Simple changes lead to system redesign in the French West Indies. *Agricultural Systems* 179, 102769. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102769>
- Descheemaeker, K., Ronner, E., Ollenburger, M., Franke, A.C., Klapwijk, C.J., Falconnier, G.N., Wichern, J., Giller, K.E., 2019. WHICH OPTIONS FIT BEST? OPERATIONALIZING THE SOCIO-ECOLOGICAL NICHE CONCEPT. *Ex. Agric.* 55, 169–190. <https://doi.org/10.1017/S001447971600048X>
- Diallo, O.K., Berhe, T., 2003. PROCESSING OF MUCUNA FOR HUMAN FOOD IN THE REPUBLIC OF GUINEA 5.
- Dogliotti, S., García, M.C., Peluffo, S., Dieste, J.P., Pedemonte, A.J., Bacigalupe, G.F., Scarlato, M., Alliaume, F., Alvarez, J., Chiappe, M., Rossing, W.A.H., 2014. Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. *Agricultural Systems* 126, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.02.009>
- Dolinska, A., d'Aquino, P., 2016. Farmers as agents in innovation systems. Empowering farmers for innovation through communities of practice. *Agricultural Systems* 142, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.11.009>
- Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., Tittone, P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy* 34, 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006>

- Doré, T., Sebillotte, M., Meynard, J.M., 1997. A diagnostic method for assessing regional variations in crop yield. *Agricultural Systems* 54, 169–188. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(96\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(96)00084-4)
- Doré, T., Sène, M., Pellissier, F., Gallet, C., 2004. Approche agronomique de l'allélopathie. *Cahiers Agriculture* 13, 249–256.
- Dugué, P., Autfray, P., Blanchard, M., Djamen, P., Dongmo, A., Girard, P., Olina, J.-P., Ouedraogo, S., Sissoko, F., Vall, E., 2014. L'agroécologie pour l'agriculture familiale dans les pays du Sud: impasse ou voie d'avenir? Le cas des zones de savane cotonnière de l'Afrique de l'Ouest et du Centre 23.
- Dugué, P., Olina Bassala, J.-P., 2015. Processus d'innovation et recomposition des territoires agricoles : le cas du semis sous couvert végétal au nord du Cameroun. *Cahiers Agricultures*. <https://doi.org/10.1684/agr.2015.0738>
- Duru, M., Therond, O., Fares, M., 2015. Designing agroecological transitions; A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 1237–1257. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>
- Duveskog, D., Friis-Hansen, E., Taylor, E.W., 2011. Farmer Field Schools in Rural Kenya: A Transformative Learning Experience. *Journal of Development Studies* 47, 1529–1544. <https://doi.org/10.1080/00220388.2011.561328>
- Ebert, A.W., 2014. Potential of Underutilized Traditional Vegetables and Legume Crops to Contribute to Food and Nutritional Security, Income and More Sustainable Production Systems. *Sustainability* 6, 319–335. <https://doi.org/10.3390/su6010319>
- Eisenhardt, K.M., Graebner, M.E., 2007. Theory Building From Cases: Opportunities And Challenges. *AMJ* 50, 25–32. <https://doi.org/10.5465/amj.2007.24160888>
- Ene-Obong, H.N., Obizoba, I.C., 1995. Protein quality of some Nigerian traditional diets based on the African yambean (*Sphenostylis stenocarpa*) and pigeon pea (*Cajanus cajan*). *Plant Food Hum Nutr* 48, 297–309. <https://doi.org/10.1007/BF01088489>
- Engels, B., 2018. Nothing will be as before: Shifting political opportunity structures in protests against gold mining in Burkina Faso. *The Extractive Industries and Society* 5, 354–362. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.01.001>
- Étienne, M. (Ed.), 2010. La modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-0621-6>
- Étienne, M., Bousquet, F., Le Page, C., Trébuil, G., 2014. Transferring the ComMod Approach, in: Étienne, M. (Ed.), *Companion Modelling: A Participatory Approach to Support Sustainable Development*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 291–309. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8557-0_12
- Falconnier, G.N., Descheemaeker, K., Van Mourik, T.A., Adam, M., Sogoba, B., Giller, K.E., 2017. Co-learning cycles to support the design of innovative farm systems in southern Mali. *European Journal of Agronomy* 89, 61–74. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.06.008>
- FAO, 1998. Rapport sur les ressources en sols du monde - 98 [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/3/Y3948F/y3948f05.htm> (accessed 7.20.20).
- FAO [WWW Document], 2000. . Les Objectifs du Millénaire pour le Développement | Objectifs de développement durable | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. URL <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/mdg/fr/> (accessed 7.6.20).
- Faure, G., Gasselin, P., Triomphe, B., Temple, L., Hocdé, H., 2010a. Innover avec les acteurs du monde rural: La recherche-action en partenariat. Editions Quae.
- Faure, G., Temple, L., Hocdé, H., Triomphe, B., Gasselin, P., 2010b. Innover avec les acteurs du monde rural: La recherche-action en partenariat. Quae.
- Fok, M., Griffon, M., 1998. Double green revolution : a challenging contribution towards sustainable development of agriculture in the 21st century. *Science and Technology Review*.
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., Poincelot, R., 2003. Agroecology: The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 22, 99–118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10
- Franke, A.C., van den Brand, G.J., Vanlauwe, B., Giller, K.E., 2018. Sustainable intensification through rotations with grain legumes in Sub-Saharan Africa: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 261, 172–185. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.029>
- Fralav, S., Hammond, J., Wichern, J., Oosting, S.J., De Boer, I.J.M., Teufel, N., Lannerstad, M., Waha, K., Pagella, T., Rosenstock, T.S., Giller, K.E., Herrero, M., Harris, D., Van Wijk, M.T., 2019. MAKING THE MOST OF

- IMPERFECT DATA: A CRITICAL EVALUATION OF STANDARD INFORMATION COLLECTED IN FARM HOUSEHOLD SURVEYS. *Ex. Agric.* 55, 230–250. <https://doi.org/10.1017/S0014479718000388>
- Friis-Hansen, E., Duveskog, D., 2012. The Empowerment Route to Well-being: An Analysis of Farmer Field Schools in East Africa. *World Development* 40, 414–427. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.05.005>
- Gaba, S., Lescourret, F., Boudsocq, S., Enjalbert, J., Hinsinger, P., Journet, E.-P., Navas, M.-L., Wery, J., Louarn, G., Malézieux, E., Pelzer, E., Prudent, M., Ozier-Lafontaine, H., 2015. Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 607–623. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0272-z>
- Gafsi, M., 2007. Exploitations agricoles familiales en Afrique de l’Ouest et du Centre: Enjeux, caractéristiques et éléments de gestion. Editions Quae.
- Geels, F.W., 2004. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy* 33, 897–920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>
- Geels, F.W., Schot, J., 2007. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy* 36, 399–417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- Gérardeaux, E., Affholder, F., Bernoux, M., Muller, B., 2015. Les relations entre systèmes de culture annuels tropicaux et changement climatique. *Changement climatique et agricultures du monde* 107–120.
- Giller, K.E., 2001. Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems. CABI.
- Giller, K.E., Tittonell, P., Rufino, M.C., van Wijk, M.T., Zingore, S., Mapfumo, P., Adjei-Nsiah, S., Herrero, M., Chikowo, R., Corbeels, M., Rowe, E.C., Baijukya, F., Mwijage, A., Smith, J., Yeboah, E., van der Burg, W.J., Sanogo, O.M., Misiko, M., de Ridder, N., Karanja, S., Kaizzi, C., K’ungu, J., Mwale, M., Nwaga, D., Pacini, C., Vanlauwe, B., 2011. Communicating complexity: Integrated assessment of trade-offs concerning soil fertility management within African farming systems to support innovation and development. *Agricultural Systems* 104, 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.002>
- Girard, N., 2013. Categorizing stakeholders’ practices with repertory grids for sustainable development. *M@n@gement* Vol. 16, 31–48.
- Girard, N., Navarrete, M., 2005. Quelles synergies entre connaissances scientifiques et empiriques ? L’exemple des cultures du safran et de la truffe, Exploring synergies between scientific and empirical knowledge: the case of saffron and truffle cropping in France. *Natures Sciences Sociétés* 13, 33–44.
- Glover, D., Sumberg, J., Andersson, J.A., 2016. The Adoption Problem; or Why We Still Understand so Little about Technological Change in African Agriculture. *Outlook Agric* 45, 3–6. <https://doi.org/10.5367/oa.2016.0235>
- Gouttenoire, L., Taverne, M., Cournut, S., Hostiou, N., Houdart, M., Lardon, S., 2014. Faciliter les échanges entre chercheurs sur les projets de recherche participative : proposition d’une grille d’analyse. *Cahiers Agricultures* 23, 205-212 (1). <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0703>
- Graham, P.H., Vance, C.P., 2003. Legumes: Importance and Constraints to Greater Use. *Plant Physiology* 131, 872–877. <https://doi.org/10.1104/pp.017004>
- Gray, L.C., Dowd-Urbe, B., Kaminski, J., 2018. Weaving cotton-led development? Liberalization, cotton producer organizations, and uneven development in Burkina Faso. <https://doi.org/10.1111/joac.12229>
- Grillot, M., Guerrin, F., Gaudou, B., Masse, D., Vayssières, J., 2018. Multi-level analysis of nutrient cycling within agro-sylvo-pastoral landscapes in West Africa using an agent-based model. *Environmental Modelling & Software* 107, 267–280. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.05.003>
- Guenot, A., Huchet-Bourdon, M., 2014. Rôle du coton sur la filière maïs au Burkina Faso. *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires* 107–119. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4353>
- Guilloux, G.L., David, A., Pouzet, A., 2018. La différenciation par l’organisation de filières : l’expérience d’AGROPOL. *OCL* 25, D210. <https://doi.org/10.1051/ocl/2018023>
- Hama-Ba, F., Siedogo, M., Ouedraogo, M., Dao, A., Dicko, H.M., Diawara, B., 2017. Modalites de consommation et valeur nutritionnelle des légumineuses alimentaires au Burkina Faso. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 17, 12871–12888. <https://doi.org/10.4314/ajfand.v17i4>
- Hammond, J., Fraval, S., van Etten, J., Suchini, J.G., Mercado, L., Pagella, T., Frelat, R., Lannerstad, M., Douchamps, S., Teufel, N., Valbuena, D., van Wijk, M.T., 2017. The Rural Household Multi-Indicator

- Survey (RHoMIS) for rapid characterisation of households to inform climate smart agriculture interventions: Description and applications in East Africa and Central America. *Agricultural Systems* 151, 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.003>
- Havard, M., Alaphilippe, A., Deytieux, V., Estrogues, V., Labeyrie, B., Lafond, D., Meynard, J.M., Petit, M.S., Plénet, D., Picault, S., Tchamitchian, M., Faloya, V., 2020. Guide de l'expérimentateur système: concevoir, conduire et valoriser une expérimentation système pour les cultures assolées et pérennes 173.
- Heeks, R., Foster, C., Nugroho, Y., 2014. New models of inclusive innovation for development. *Innovation and Development* 4, 175–185. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2014.928982>
- Hepperly, P., Aguilar-Erazo, H., Perez, R., Diaz, M., Reyes, C., 1992. Pigeon pea and velvet bean allelopathy, in: Rizvi, S.J.H., Rizvi, V. (Eds.), *Allelopathy: Basic and Applied Aspects*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 357–370. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2376-1_21
- HLPE, 2019. HLPE Report #14 - Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition 163.
- Holt-Giménez, E., Altieri, M.A., 2013. Agroecology, Food Sovereignty, and the New Green Revolution. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37, 90–102. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.716388>
- Hoogmoed, W.B., Klaij, M.C., 1990. Soil management for crop production in the West African Sahel. I. Soil and climate parameters. *Soil and Tillage Research, A Tribute to Prof. IR. H. Kuipers* 16, 85–103. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90023-7)
- Husson, O., Tran Quoc, H., Boulakia, S., Chabanne, A., Tivet, F., Bouzinac, S., Lienhard, P., Michellon, R., Chabierski, S., Boyer, J., Enjalric, F., Rakotondramanana, Moussa, N., Jullien, F., Balarabe, O., Rattanatrav, B., Castella, J.-C., Charpentier, H., Séguy, L., 2016. Co-designing innovative cropping systems that match biophysical and socio-economic diversity: The DATE approach to Conservation Agriculture in Madagascar, Lao PDR and Cambodia. *Renewable Agriculture and Food Systems* 31, 452–470. <https://doi.org/10.1017/S174217051500037X>
- Ibrahim, B., Karambiri, H., Polcher, J., Yacouba, H., Ribstein, P., 2014. Changes in rainfall regime over Burkina Faso under the climate change conditions simulated by 5 regional climate models. *Clim Dyn* 42, 1363–1381. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1837-2>
- Jahel, C., Baron, C., Vall, E., Bégué, A., Coulibaly, K., Karambiri, M., Castets, M., Dupuy, S., Seen, D.L., 2015. Land pressure and agrarian mutation, spatial modelling of farming systems evolution from plot to regional scale in West Burkina Faso 2.
- Jahel, C., Vall, E., Rodriguez, Z., Bégué, A., Baron, C., Augusseau, X., Lo Seen, D., 2018. Analysing plausible futures from past patterns of land change in West Burkina Faso. *Land Use Policy* 71, 60–74. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.025>
- Jalloh, A., Roy-Macauley, H., Sereme, P., 2012. Major agro-ecosystems of West and Central Africa: Brief description, species richness, management, environmental limitations and concerns. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 157, 5–16. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.019>
- Jeantet, A., 1998. Les objets intermédiaires dans la conception. *Éléments pour une sociologie des processus de conception*. *sotra* 40, 291–316. <https://doi.org/10.3406/sotra.1998.1333>
- Kermah, M., Franke, A.C., Adjei-Nsiah, S., Ahiabor, B.D.K., Abaidoo, R.C., Giller, K.E., 2018. N₂-fixation and N contribution by grain legumes under different soil fertility status and cropping systems in the Guinea savanna of northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 261, 201–210. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.028>
- Kerr, R.B., Snapp, S., CHIRWA (deceased), M., Shumba, L., Msachi, R., 2007. Participatory research on legume diversification with Malawian smallholder farmers for improved human nutrition and soil fertility. *Experimental Agriculture* 43, 437–453. <https://doi.org/10.1017/S0014479707005339>
- Khan, Z.R., Pickett, J.A., Wadhams, L.J., Hassanali, A., Midega, C.A.O., 2006. Combined control of *Striga hermonthica* and stem borers by maize–*Desmodium* spp. intercrops. *Crop Protection* 25, 989–995. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.01.008>
- Kiemdé, I., 2017. Etude de l'arrière effet des légumineuses (*Cajanus cajan* (L.) Millsp., *Mucuna deeringiana* (Bort) Merr. et *Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sur les paramètres chimiques du sol et les rendements du sorgho à Farako-Bâ 52.

- Kilelu, C.W., Klerkx, L., Leeuwis, C., 2013. Unravelling the role of innovation platforms in supporting co-evolution of innovation: Contributions and tensions in a smallholder dairy development programme. *Agricultural Systems* 118, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.03.003>
- Kleene, P., 1976. Notion d'exploitation agricole et modernisation en milieu Wolof Saloum (Sénégal). *L'Agronomie Tropicale* (1975).
- Klerkx, L., Aarts, N., Leeuwis, C., 2010. Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. *Agricultural Systems* 103, 390–400. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.012>
- Koudougou, S., Stiem-Bhatia, L., Bary, H., Tall, F., 2017. Genre, foncier et gestion durable des terres au Burkina Faso 25.
- Lairez, J., Feschet, P., Aubin, J., Bockstaller, C., Bouvarel, I., 2015. *Agriculture et développement durable: guide pour l'évaluation multicritère*, Quae. ed.
- Lairez, J., Lopez-Ridaura, S., Jourdain, D., Falconnier, G.N., Lienhard, P., Striffler, B., Syfongxay, C., Affholder, F., 2020. Context matters: Agronomic field monitoring and participatory research to identify criteria of farming system sustainability in South-East Asia. *Agricultural Systems* 182, 102830. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102830>
- Lamine, C., 2011. Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM. *Journal of Rural Studies* 27, 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2011.02.001>
- Lançon, J., Wery, J., Rapidel, B., Angokaye, M., Gérardaux, E., Gaborel, C., Ballo, D., Fadegnon, B., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agron. Sustain. Dev.* 27, 101–110. <https://doi.org/10.1051/agro:2006037>
- Landais, E., 1996. Typologies d'exploitations agricoles. Nouvelles questions, nouvelles méthodes. *Économie rurale* 236, 3–15. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1996.4819>
- Lawrence, A., 2006. 'No Personal Motive?' Volunteers, Biodiversity, and the False Dichotomies of Participation. *Ethics, Place & Environment* 9, 279–298. <https://doi.org/10.1080/13668790600893319>
- Le Gal, P.-Y., Dugué, P., Faure, G., Novak, S., 2011. How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agricultural Systems* 104, 714–728. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.07.007>
- Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A., 2006. *Les processus d'innovation: Conception innovante et croissance des entreprises*. Lavoisier Paris.
- Lê, S., Josse, J., Husson, F., 2008. **FactoMineR** : An R Package for Multivariate Analysis. *J. Stat. Soft.* 25. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Leclère, M., Loyce, C., Jeuffroy, M.-H., 2018. Growing camelina as a second crop in France: A participatory design approach to produce actionable knowledge. *European Journal of Agronomy* 101, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.08.006>
- Lienhard, P., Lestrelin, G., Phanthanivong, I., Kiewwongphachan, X., Leudphanane, B., Lairez, J., Quoc, H.T., Castella, J.-C., 2020. Opportunities and constraints for adoption of maize-legume mixed cropping systems in Laos. *International Journal of Agricultural Sustainability* 1–17. <https://doi.org/10.1080/14735903.2020.1792680>
- Lilja, N., Bellon, M., 2008. Some common questions about participatory research: a review of the literature. *Development in Practice* 18, 479–488. <https://doi.org/10.1080/09614520802181210>
- Lourme-Ruiz, A., Dury, S., Martin-Prével, Y., 2016. Consomme-t-on ce que l'on sème ? Relations entre diversité de la production, revenu agricole et diversité alimentaire au Burkina Faso. *Cah. Agric.* 25, 65001. <https://doi.org/10.1051/cagri/2016038>
- Martin, G., 2015. A conceptual framework to support adaptation of farming systems – Development and application with Forage Rummy. *Agricultural Systems* 132, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.013>
- Mawois, M., Vidal, A., Revoyron, E., Casagrande, M., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., 2019. Transition to legume-based farming systems requires stable outlets, learning, and peer-networking. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0559-1>
- McCown, R.L., 2002. Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. *Agricultural Systems* 74, 179–220. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00026-4)

- Méndez, V.E., Bacon, C.M., Cohen, R., 2013. Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-Oriented Approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37, 3–18. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.736926>
- Meynard, J.M., Cerf, M., Durant, D., Fiorelli, J.L., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., Lefèvre, A., Navarrete, M., Pernel, J., Perrin, B., Prost, L., Reau, R., Salembier, C., Toffolini, Q., 2019. The step-by-step approach for farming systems design, in the frame of agroecological transition.
- Meynard, J.-M., Dedieu, Benoit, Bos, A.P. (Bram), 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices, in: Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, Benoît (Eds.), *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer Netherlands, pp. 405–429. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18
- Meynard, J.M., Jeuffroy, M.-H., 2021. L'agroécologie. Académie d'Agriculture-Presses des Mines.
- Meynard, J.-M., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., Lefèvre, A., Magrini, M.-B., Michon, C., 2017. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems* 157, 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.002>
- Milestad, R., Dedieu, B., Darnhofer, I., Bellon, S., 2012. Farms and farmers facing change: The adaptive approach, in: Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, B. (Eds.), *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 365–385. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_16
- Millennium Ecosystem Assessment, World Health Organization (Eds.), 2005. *Ecosystems and human well-being: health synthesis, Millennium ecosystem assessment*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Milleville, P., Bosc, P.-M., Chauveau, J.-P., Cormier-Salem, M.-C., Dubois, J.P., Gastellu, J.M., 1995. Stratégies et comportements des agriculteurs les plus pauvres vis-à-vis de l'intensification et de la préservation des ressources naturelles dans les pays de l'Afrique soudano-sahélienne [WWW Document]. URL <https://agritrop.cirad.fr/315056/> (accessed 11.26.20).
- Minde, J.J., Venkataramana, P.B., Matem, A.O., 2020. Dolichos Lablab-an underutilized crop with future potentials for food and nutrition security: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 0, 1–13. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1775173>
- Morant, P., 1991. Caractérisation de la fragilité écologique et des potentialités agronomiques de la région de Houde au Burkina Faso : utilisation de différentes techniques de diagnostic (phdthesis). Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Muoni, T., Barnes, A.P., Öborn, I., Watson, C.A., Bergkvist, G., Shiluli, M., Duncan, A.J., 2019. Farmer perceptions of legumes and their functions in smallholder farming systems in east Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability* 1–14. <https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1609166>
- Navarrete, M., Brives, H., Catalogna, M., Gouttenoire, L., Lamine, C., Ollion, E., Simon, S., 2018. Farmers' involvement in collective experimental designs in a French region, Rhône-Alpes. How do they contribute to farmers' learning and facilitate the agroecological transition? 12.
- Nederlof, E.S., Dangbégnon, C., 2007. Lessons for farmer-oriented research: Experiences from a West African soil fertility management project. *Agriculture and Human Values* 24, 369–387. <https://doi.org/10.1007/s10460-007-9066-0>
- Odendo, M., Bationo, A., Kimani, S., 2011. Socio-Economic Contribution of Legumes to Livelihoods in Sub-Saharan Africa, in: Bationo, Andre, Waswa, B., Okeyo, J.M., Maina, F., Kihara, J., Mokuwonye, U. (Eds.), *Fighting Poverty in Sub-Saharan Africa: The Multiple Roles of Legumes in Integrated Soil Fertility Management*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 27–46. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1536-3_2
- Ojiem, J.O., Ridder, N. de, Vanlauwe, B., Giller, K.E., 2006. Socio-ecological niche: a conceptual framework for integration of legumes in smallholder farming systems. *International Journal of Agricultural Sustainability* 4, 79–93. <https://doi.org/10.1080/14735903.2006.9686011>
- Otsuka, K., Kijima, Y., 2010. Technology Policies for a Green Revolution and Agricultural Transformation in Africa. *Journal of African Economies* 19, ii60–ii76. <https://doi.org/10.1093/jae/ejp025>
- Pant, L.P., Odame, H.H., 2009. The promise of positive deviants: bridging divides between scientific research and local practices in smallholder agriculture. *Knowledge Management for Development Journal* 5, 160–172. <https://doi.org/10.1080/18716340903201504>

- Papy, F., 2008. Le système de culture: un concept riche de sens pour penser le futur. *Cahiers Agricultures* 263–269. <https://doi.org/10.1684/agr.2008.0201>
- Pellegrini, P., Fernández, R.J., 2018. Crop intensification, land use, and on-farm energy-use efficiency during the worldwide spread of the green revolution. *PNAS* 115, 2335–2340. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717072115>
- Périnelle, A., Meynard, J.-M., Scopel, E., 2021. Combining on-farm innovation tracking and participatory prototyping trials to develop legume-based cropping systems in West Africa. *Agricultural Systems* 187, 102978. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102978>
- Phillips, D., Waddington, H., White, H., 2014. Better targeting of farmers as a channel for poverty reduction: a systematic review of Farmer Field Schools targeting. *Development Studies Research* 1, 113–136. <https://doi.org/10.1080/21665095.2014.924841>
- Pigford, A.-A.E., Hickey, G.M., Klerkx, L., 2018. Beyond agricultural innovation systems? Exploring an agricultural innovation ecosystems approach for niche design and development in sustainability transitions. *Agricultural Systems* 164, 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.007>
- Pingali, P.L., 2012. Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. *PNAS* 109, 12302–12308. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109>
- Porgo, M., Kuwornu, J.K.M., Zahonogo, P., Jatoo, J.B.D., Egyir, I.S., 2018. Credit constraints and cropland allocation decisions in rural Burkina Faso. *Land Use Policy* 70, 666–674. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.053>
- Prost, L., Berthet, E.T.A., Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Labatut, J., Meynard, J.-M., 2017. Innovative design for agriculture in the move towards sustainability: scientific challenges. *Res Eng Design* 28, 119–129. <https://doi.org/10.1007/s00163-016-0233-4>
- Prost, L., Reau, R., Paravano, L., Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., 2018. Designing agricultural systems from invention to implementation: the contribution of agronomy. Lessons from a case study. *Agricultural Systems* 164, 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.009>
- Ragasa, C., Berhane, G., Tadesse, F., Taffesse, A.S., 2013. Gender Differences in Access to Extension Services and Agricultural Productivity. *The Journal of Agricultural Education and Extension* 19, 437–468. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2013.817343>
- Rajendran, S., Afari-Sefa, V., Shee, A., Bocher, T., Bekunda, M., dominick, I., Lukumay, P.J., 2017. Does crop diversity contribute to dietary diversity? Evidence from integration of vegetables into maize-based farming systems. *Agric & Food Secur* 6, 50. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0127-3>
- Reau, R., Monnot, L.A., Schaub, A., Munier-Jolain, N., Bockstaller, C., Cariolle, M., Chabert, A., Dumans, P., 2012. Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs1eau.pdf. *Innovations Agronomiques* 20 5–33.
- Reckling, M., Bergkvist, G., Watson, C.A., Stoddard, F.L., Bachinger, J., 2020. Re-designing organic grain legume cropping systems using systems agronomy. *European Journal of Agronomy* 112, 125951. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125951>
- Reed, M.S., 2008. Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological Conservation* 141, 2417–2431. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.07.014>
- RELAX - Agropolis Fondation [WWW Document], n.d. URL <https://www.agropolis-fondation.fr/RELAX> (accessed 4.3.20).
- Rip, A., Kemp, R., 1997. Technological change, chapter 6.
- Ripoche, A., Crétenet, M., Corbeels, M., Affholder, F., Naudin, K., Sissoko, F., Douzet, J.-M., Tiftonell, P., 2015. Cotton as an entry point for soil fertility maintenance and food crop productivity in savannah agroecosystems—Evidence from a long-term experiment in southern Mali. *Field Crops Research* 177, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.02.013>
- Ronner, E., Descheemaeker, K., Almekinders, C., Ebanyat, P., Giller, K.E., 2019. Co-design of improved climbing bean production practices for smallholder farmers in the highlands of Uganda. *Agricultural Systems* 175, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.05.003>
- Ronner, E., Descheemaeker, K., Almekinders, C.J.M., Ebanyat, P., Giller, K.E., 2017. Farmers' use and adaptation of improved climbing bean production practices in the highlands of Uganda. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.004>

- Rurangwa, E., Vanlauwe, B., Giller, K.E., 2018. Benefits of inoculation, P fertilizer and manure on yields of common bean and soybean also increase yield of subsequent maize. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 261, 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.015>
- Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J.-É., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., Doré, T., 2008. Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28, 163–174. <https://doi.org/10.1051/agro:2007043>
- Salembier, C., 2019. Stimuler la conception distribuée de systèmes agroécologiques par l'étude de pratiques innovantes d'agriculteurs 271.
- Salembier, C., Elverdin, J.H., Meynard, J.-M., 2016. Tracking on-farm innovations to unearth alternatives to the dominant soybean-based system in the Argentinean Pampa. *Agronomy for Sustainable Development* 36. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0343-9>
- Salembier, C., Segrestin, B., Berthet, E., Weil, B., Meynard, J.-M., 2018. Genealogy of design reasoning in agronomy: Lessons for supporting the design of agricultural systems. *Agricultural Systems* 164, 277–290. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.05.005>
- Salembier, C., Segrestin, B., Sinoir, N., Templier, J., Weil, B., Meynard, J.-M., 2020. Design of equipment for agroecology: Coupled innovation processes led by farmer-designers. *Agricultural Systems* 183, 102856. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102856>
- Savaget, P., Geissdoerfer, M., Kharrazi, A., Evans, S., 2019. The theoretical foundations of sociotechnical systems change for sustainability: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production* 206, 878–892. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.208>
- Schut, M., Cadilhon, J.-J., Misiko, M., Dror, I., 2018. Do mature innovation platforms make a difference in agricultural research for development? a meta-analysis of case studies. *Experimental Agriculture* 54, 96–119. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000752>
- Scopel, E., Louette, D., 1992. Une méthode de diagnostic agronomique basée sur l'enquête : application au maïs pluvial à Pueblo Juarez, Mexique. *L'Agronomie Tropicale* (1975).
- Scopel, E., Triomphe, B., Affholder, F., Da Silva, F.A.M., Corbeels, M., Xavier, J.H.V., Lahmar, R., Recous, S., Bernoux, M., Blanchart, E., de Carvalho Mendes, I., De Tourdonnet, S., 2013. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33, 113–130. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0106-9>
- Sébillotte, M., n.d. *Agronomie et agriculture : essai d'analyse des tâches de l'agronome* 23.
- Smith, A., Snapp, S., Chikowo, R., Thorne, P., Bekunda, M., Glover, J., 2017. Measuring sustainable intensification in smallholder agroecosystems: A review. *Global Food Security* 12, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.11.002>
- Soulard, C.T., Compagnone, C., Lémery, B., 2007. La recherche en partenariat : entre fiction et friction. *Natures Sciences Sociétés* 15, 13–22. <https://doi.org/10.1051/nss:2007019>
- Sumberg, J., Okali, C., Reece, D., 2003. Agricultural research in the face of diversity, local knowledge and the participation imperative: theoretical considerations. *Agricultural Systems* 76, 739–753. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00153-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00153-1)
- Swaans, K., Boogaard, B., Bendapudi, R., Taye, H., Hendrickx, S., Klerkx, L., 2014. Operationalizing inclusive innovation: lessons from innovation platforms in livestock value chains in India and Mozambique. *Innovation and Development* 4, 239–257. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2014.925246>
- Tafesse, S., van Mierlo, B., Leeuwis, C., Lie, R., Lemaga, B., Struik, P.C., 2020. Combining experiential and social learning approaches for crop disease management in a smallholder context: a complex socio-ecological problem. *Socio Ecol Pract Res*. <https://doi.org/10.1007/s42532-020-00058-z>
- Tittonell, P., Bruzzone, O., Solano-Hernández, A., López-Ridaura, S., Easdale, M.H., 2020. Functional farm household typologies through archetypal responses to disturbances. *Agricultural Systems* 178, 102714. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102714>
- Tittonell, P., van Wijk, M.T., Herrero, M., Rufino, M.C., de Ridder, N., Giller, K.E., 2009. Beyond resource constraints – Exploring the biophysical feasibility of options for the intensification of smallholder crop-livestock systems in Vihiga district, Kenya. *Agricultural Systems* 101, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.02.003>
- Toffolini, Q., Cardona, A., Casagrande, M., Dedieu, B., Girard, N., Ollion, E., 2019. Agroecology as farmers' situated ways of acting : a conceptual framework 34.

- Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Mischler, P., Pernel, J., Prost, L., 2017. Farmers' use of fundamental knowledge to re-design their cropping systems: situated contextualisation processes. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 80, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.11.004>
- Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., 2016. Indicators used by farmers to design agricultural systems: a survey. *Agronomy for Sustainable Development* 36. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0340-z>
- Trompette, P., Vinck, D., 2009. Retour sur la notion d'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances* Vol. 3, n° 1, 5–27.
- Vall, E., Andrieu, N., Dugué, P., Richard, D., Tou, Z., Diallo, M.A., 2008. Evolutions des pratiques agropastorales et changements climatiques en zone soudano-sahélienne d'Afrique de l'Ouest : proposition d'un modèle conceptuel de l'interaction climat-écosystèmes de production agropastorales [WWW Document]. Atelier sous Régional : Changements climatiques et interactions élevage environnement en Afrique de l'Ouest, 11-15 février 2008, Niamey, Niger. URL <http://agritrop.cirad.fr/543499/> (accessed 3.11.19).
- Vall, E., Chia, E., Blanchard, M., Koutou, M., Coulibaly, K., Andrieu, N., 2016. La co-conception en partenariat de systèmes agricoles innovants. *Cahiers Agricultures* 25, 15001. <https://doi.org/10.1051/cagri/2016001>
- Vall, É., Dugué, P., Blanchard, M., 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton 8.
- Vall, E., Marre-Cast, L., Kamgang, H.J., 2017. Chemins d'intensification et durabilité des exploitations de polyculture-élevage en Afrique subsaharienne : contribution de l'association agriculture-élevage. *Cahiers Agricultures* 26, 25006. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017011>
- Van Asten, P.J.A., Kaaria, S., Fermont, A.M., Delve, R.J., 2009. Challenges and lessons when using farmer knowledge in agricultural research and development projects in Africa. *Experimental Agriculture* 45, 1. <https://doi.org/10.1017/S0014479708006984>
- Van Vugt, D., Franke, A.C., Giller, K.E., 2018. Understanding variability in the benefits of N₂-fixation in soybean-maize rotations on smallholder farmers' fields in Malawi. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 261, 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.008>
- Vanlauwe, B., Hungria, M., Kanampiu, F., Giller, K.E., 2019. The role of legumes in the sustainable intensification of African smallholder agriculture: Lessons learnt and challenges for the future. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 284, 106583. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106583>
- Vereijken, P., 1999. Manual for prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. Citeseer.
- Verret, V., Pelzer, E., Bedoussac, L., Jeuffroy, M.-H., 2020. Tracking on-farm innovative practices to support crop mixture design: The case of annual mixtures including a legume crop. *European Journal of Agronomy* 115, 126018. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126018>
- Waters-Bayer, A., Bayer, W., 2009. Enhancing local innovation to improve water productivity in crop-livestock systems. *Rangel. J.* 31, 231–235. <https://doi.org/10.1071/RJ09009>
- Wolde-meskel, E., van Heerwaarden, J., Abdulkadir, B., Kassa, S., Aliyi, I., Degefu, T., Wakweya, K., Kanampiu, F., Giller, K.E., 2018. Additive yield response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to rhizobium inoculation and phosphorus fertilizer across smallholder farms in Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 261, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.035>
- Yu, Y., Stomph, T.-J., Makowski, D., Zhang, L., van der Werf, W., 2016. A meta-analysis of relative crop yields in cereal/legume mixtures suggests options for management. *Field Crops Research* 198, 269–279. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.001>
- Zoma-Traoré, B., Soudré, A., Ouédraogo-Koné, S., Khayatzadeh, N., Probst, L., Sölkner, J., Mészáros, G., Burger, P.A., Traoré, A., Sanou, M., Ouédraogo, G.M.S., Traoré, L., Ouédraogo, D., Yougbaré, B., Wurzinger, M., 2020. From farmers to livestock keepers: a typology of cattle production systems in south-western Burkina Faso. *Trop Anim Health Prod.* <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02241-6>
- Zongo, K.F., Hien, E., Drevon, J.-J., Blavet, D., Masse, D., Clermont-Dauphin, C., 2016. Typologie et logique socio-économique des systèmes de culture associant céréales et légumineuses dans les agro-écosystèmes soudano-sahéliens du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 10, 290. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i1.23>

Liste des figures et des tables

Liste des figures

- Figure 1 : Carte de la Province du Tuy, avec ses six communes, et la localisation des Essais de Prototypages Participatifs (PPT) à Boni et Founzan..... 24
- Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Boni, situé dans la Province du Tuy, Données 1982-2012 (source : <https://fr.climate-data.org/afrique/burkina-faso/hauts-bassins/boni-490322/>)..... 25
- Figure 3 : Travail du sol pour la préparation de la parcelle, par billonnage avec un charrue attelée à 2 bœufs de traits, dans la zone cotonnière du Burkina Faso, 2017 (Photo : T. Bakker)..... 27
- Figure 4 : Schéma synthétique de l'articulation des différents outils utilisés dans notre approche 31
- Figure 5: List of the 16 treatments implemented in the participatory prototyping trials (PPT), ICS: Innovative cropping system (described in table 3); each box represents a 400m², some plots are divided into 2 parts (boxes divided with a dotted line)..... 40
- Figure 6 : First field day of the participatory prototyping trials in Boni, July 2017 (Photo: G. Bruelle) 41
- Figure 7: Distribution in percentage of 22 innovative farmers (“% innovative”), 64 field-day farmers (“% field days”) and 299 randomly selected in the Tuy Province (“% random”) by the cropped area (ha) in their farm in 2017. 52
- Figure 8: Distribution in percentage of 22 innovative farmers (“% innovative”), 64 field-day farmers (“% field days”) and 299 randomly selected in the Tuy Province (“% random”) by the number of cattle owned by the household (logarithmic scale). 52
- Figure 9 : Buttage du coton sur le PPT2 de Boni, août 2018 (Photo : A. Périnelle)..... 64
- Figure 10 : Répartition des 73 producteurs ayant participé aux activités collectives, en fonction du choix de l'ICS mis en place dans les Farmers' Adaptation Trials 1 (NA : pas d'essai ; Asso Sorg. Soja : association sorgho-soja ; Asso Sorg. Ar : association sorgho-arachide ; pur Caj : Pois d'Angolepure ; pur Muc : Mucuna en pur ; relai Mais Muc : maïs en relai avec du Mucuna ; succ NieR. Maïs : succession intra-annuelle niébé rouge/maïs ; succ NieR. NieB : succession intra-annuelle niébé rouge/ niébé blanc). Les effectifs des types d'ICS retenus par les paysans (successions intra-annuelles en mauve ; Fourrages en vert ; associations sorgho-légumineuses en bleu) sont indiqués dans les rectangles colorés..... 71
- Figure 11 : Histogramme de répartition des exploitations agricoles des producteurs concernées par l'étude avec en ordonnée la superficie cultivée (ha) et le nombre de bovins , et en abscisse le type d'ICS testés dans les FAT 1 ou le choix de ne pas faire de FAT1 (NA). Les valeurs seuils de la typologie pour la superficie cultivée (en vert) et le nombre de bovins (en marron) sont indiqués sur l'axe des ordonnées..... 81
- Figure 12 : Distribution en pourcentage des types d'ICS choisis par les producteurs en fonction du sous type d'exploitation agricole (EA) (Table 15) auquel ils appartiennent. Le nombre de producteurs en valeur absolue apparaît sur chaque barre 82
- Figure 13 : Diagrammes en boîte (Box plot) représentant les 2 modalités de la variable « mise en place d'un FAT1 » : oui à droite en vert et non à gauche en rouge de chaque diagramme, en fonction des 8 variables

quantitatives Rhomis sélectionnées (le nom de la variable est indiquée au-dessus du diagramme correspondant). Les résultats ont été obtenus avec un test de Wilcoxon. La ligne foncée à l'intérieur de chaque boîte représente la médiane, et les bords du rectangle correspondent aux quartiles. (Réalisation : David Berre).....	83
Figure 14 : Diagrammes en boîte (Box plot) représentant les 3 modalités de la variable « type de ICS mis en place » : Associations en bleu, Fourrages en vert et Successions en mauve, en fonction des 8 variables quantitatives Rhomis sélectionnées (le nom de la variable est indiquée au-dessus du diagramme correspondant). Les résultats ont été obtenus par un test de Wilcoxon. La ligne foncée à l'intérieur de chaque boîte représente la médiane, et les bords du rectangle correspondent aux quartiles. Les différences significatives sont indiquées par un * (Réalisation : David Berre)	84
Figure 15 : Evolution des choix des producteurs entre leur FAT1 (ICS 2018 à gauche) and leur FAT2 (ICS 2019 à droite), avec en ordonnées le nombre de producteurs concernés (number); succ. pour le type Successions ; four. pour le type Fourrages ; asso pour le type Associations (Réalisation : David Berre)	85
Figure 16 : Pois d'Angole du PPT2 de Boni, avec à gauche la variété de l'ICRISAT et à droite la variété de l'INERA, octobre 2018 (photo : Anne Périnelle)	87
Figure 17 : Distribution en pourcentage des changements d'ICS entre les FAT1 et les FAT2 (abandon de l'essai en rouge, change de type d'ICS en orange, continue le même type d'ICS en jaune) en fonction du sous type d'exploitation agricole (EA) auquel ils appartiennent, pour les 35 producteurs ayant mis en place un FAT1 et ayant répondu au questionnaire Rhomis. Le nombre de producteurs en valeur absolue apparaît sur chaque barre.	89
Figure 18 : Distribution en pourcentage des type d'ICS choisis par les producteurs en fonction du FAT (année et village) sur lequel le ICS a été mis en place.....	89
Figure 19 : Photo de l'association sorgho soja sur le PPT2 de Founzan, avec à gauche l'association en inter-poquet et à droite l'association en interligne, août 2018 (Photo : Anne Périnelle)	110
Figure 20 : Photo de l'association sorgho arachide sur le PPT2 de Founzan, avec à gauche l'association en inter-poquet et à droite l'association en interligne, août 2018 (Photo : Anne Périnelle).....	110
Figure 21 : Histogramme des densités relatives de sorgho (Drel sorg) et d'arachide (Drel leg) par parcelles FAT1 (_1), FAT2 (_2), PPT1 et PPT2 permettant de comparer les FAT entre eux et avec les PPT. En chiffre au-dessus des barres sont indiqués les RST (nombre de jour de décalage entre le semis du sorgho et celui de la légumineuse) quand il diffère de 0 ; dans un même cadre rouge, le FAT1 et le FAT2 du même producteur, et dans un cadre noir les PPT.....	111
Figure 22 : Histogramme des densité relatives de sorgho (Drel sorg) et du soja (Drel leg) par parcelles FAT1 (ID_1), FAT2 (ID_2), PPT1 et PPT2 permettant de comparer les FAT entre eux et avec les PPT. En chiffre au-dessus des barres sont indiqués les RST (nombre de jour de décalage entre le semis du sorgho et celui de la légumineuse, négatif quand la légumineuse est semée avant) quand il diffère de 0 ; dans un même cadre rouge le FAT1 et le FAT2 du même producteur, et dans un cadre noir les PPT.....	111

Figure 23 : Projection des individus sur le plan des deux premiers axes de l'Analyse en composante principale mixte (ACP mixte), mettant en évidence les différents types de dynamiques d'adaptation du semis en fonction de variables quantitatives (densités relatives de la légumineuse et du sorgho sur les FAT1 et les FAT2) ; et de variables qualitatives (choix du système de culture , interligne ou inter-poquet, pour les FAT1 et les FAT2)	114
Figure 24 : Projection des variables quantitatives de l'ACP mixte (Dleg FAT 1 : Densités relatives de la légumineuses sur les FAT1 ; Dleg FAT 2 : Densités relatives de la légumineuses sur les FAT2 ; Dsorg FAT 1 : Densités relatives du sorgho légumineuses sur les FAT1 ; Dsorg FAT 1 : Densités relatives du sorgho légumineuses sur les FAT1)	114
Figure 25 : Projection des modalités qualitatives de l'ACP mixte. Modalités pour le choix de l'ICS sur le FAT1 (ICS FAT1): association sorgho-arachide (asso Sorg Ar), association sorgho-soja (asso Sorg Soj), ou autre ICS (autre) ; Modalités pour le choix de l'ICS sur le FAT2 (ICS FAT2): association sorgho-arachide (asso Sorg Ar), association sorgho-soja (asso Sorg Soj), autre ICS (autre) ou pas de FAT2 (arrêt) ; Modalité pour l'Interligne ou l'Inter-poquet sur le FAT1 (IP/IL FAT1) ou le FAT2 (IP/IL FAT2) : Inter-poquet (IP), Interligne (IL) ou pas d'association (NA).	115
Figure 26: Schéma synthétique de l'articulation des différent outils utilisée dans notre approche. Ce qu'a produit chaque outil est synthétisé dans les cases vertes.	129

Liste des Tables

Table 1: Characterization of the 5 types of Innovative Cropping Systems (ICS) identified during on-farm innovation tracking.....	43
Table 2a,b,c,d,e: Summary tables of the ICS evaluations by innovative farmers made during in-depth interviews (column 1 "Innovative tracking") and by field days farmers during field day 2 on PPT1 (column 2 " PPT1 evaluation") and field day 3 on PPT2 (column 3 "PPT2 evaluation"). Criteria are classified in 5 categories (organized in rows, from row 1 "production/yield" to row 5 "labor management").	44
Table 3: List of activities involving the field day farmers per communities. Workshops are collective activities led in a municipal room, and Field days are collective activities led on the Participatory Prototyping Trials of 2017 (PPT 1) or 2018 (PPT2). The counted attendees are farmers participating to the activity.	53
Table 4 : Principales caractéristiques des ICS mis en démonstration dans les PPT1. (Extraits de la Table 1 du chapitre 1 pour les ICS 1,2,3,4 et 5, qui sont inspirés de la traque aux innovation).....	63
Table 5: Description des trois types d'ICS proposés.....	66
Table 6 : Variables calculées à partir des données Rhomis.....	67
Table 7 : Catégories de critères d'évaluations mentionnés dans le chapitre 1 en anglais, et l'équivalence en français pour ce chapitre	70

Table 8 : ICS Association sorgho-légumineuse :évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1 et des PPT2, avec les citations entre guillemets en italique (extraits de la table 2a chapitre 1).....	72
Table 9 : ICS Successions intra-annuelles : évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1, avec les citations entre guillemets en italique (extraits de la table 2c chapitre 1).	72
Table 10 : ICS Mucuna pur : évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1 et des PPT2, avec les citations entre guillemets en italique. (extraits de la table 2d chapitre 1).	73
Table 11 : ICS Pois d'Angole pur : évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1 et des PPT2, avec les citations entre guillemets en italique (extraits de la table 2d chapitre 1).	74
Table 12 : ICS Mucuna en relai du maïs : évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1 et des PPT2, avec les citations entre guillemets en italique.	74
Table 13 : ICS association pois d'Angole-maïs : évaluations faites par les producteurs durant les visites collectives des PPT1 et des PPT2, avec les citations entre guillemets en italique.	75
Table 14 : Critères de choix des ICS exprimés par les producteurs en réponse à la question ouverte « pourquoi avez-vous choisi ce système de culture », avec une citation chaque fois que le critère est mentionné par un producteur (chaque producteur peut avoir plusieurs critères donc plusieurs citations). Les cases grisées correspondent aux critères différents des critères d'évaluation formulés lors des visites collectives sur les PPT1 ou 2.	76
Table 15 : Description des types et sous types de producteurs établis à partir de la typologie proposée par Vall et al., 2006 (Land cultivated : surface cultivée ; cattle : nombre de bovins ; sans TA : sans traction animale)	80
Table 16 : Quantité de semences distribuées par système de culture pour les PPT1	99
Table 17 : Synthèse, par ICS, des propositions d'amélioration issues des visites des PPT : Colonne 1, éléments des PPT1 ayant suscité des propositions d'amélioration de la part des producteurs ; colonne 2, propositions faites par les producteurs lors des visites des PPT1 ; colonne 3, modifications opérées dans les PPT2, et nouvelles propositions issus des visites des PPT2 ; colonne 4, évaluation par les producteurs de ces nouvelles propositions.	103
Table 18 : Principales adaptations des modalités de semis et de gestion des adventices mises en place par les producteurs dans les FAT1 en comparaison avec les PPT1 (les principales différences sont indiqués dans les cases grises ; est écrit en rouge ce qui concerne les FAT)	105
Table 19 : Rendements du sorgho et de l'arachide obtenus dans les PPT1 (2017) et les PPT2 (2018°	109
Table 20: Représentation schématiques des association sorgho-légumineuses mises en places dans les PPT2.	109

ANNEXES

ANNEXE 1: Illustration des systèmes issus de la traque aux innovation

Associations sorgho-légumineuses



Association sorgho-arachide en inter-poquet (Photo: G.Bruelle)



Récolte du sorgho (Photo: A.Périnelle)

Rotation soja /céréales



<http://www.rfi.fr/emission/20170116-burkina-faso-partenariat-agropol-developper-filiere-soja>



Successions niébé rouge/ culture pour la biomasse



Graines de niébé blanc
et de niébé rouge
(Photo: A.Périnelle)

Parcelle de niébé rouge à 45 JAS (Photo: G.Bruelle)

Mucuna en rotation avec maïs



Parcelle de mucuna (Photo: A.Périnelle)

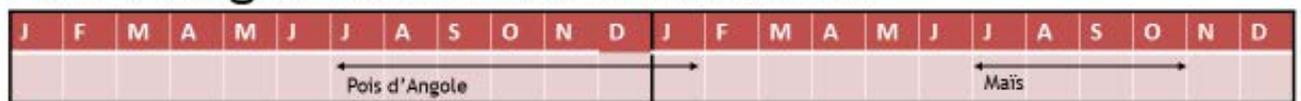


Botte de mucuna
(Photo: A.Périnelle)



Graines de mucuna
(Photo: A.Périnelle)

Pois d'Angole en rotation avec maïs



Litière formée par le pois d'Angole (Photo: A.Périnelle)

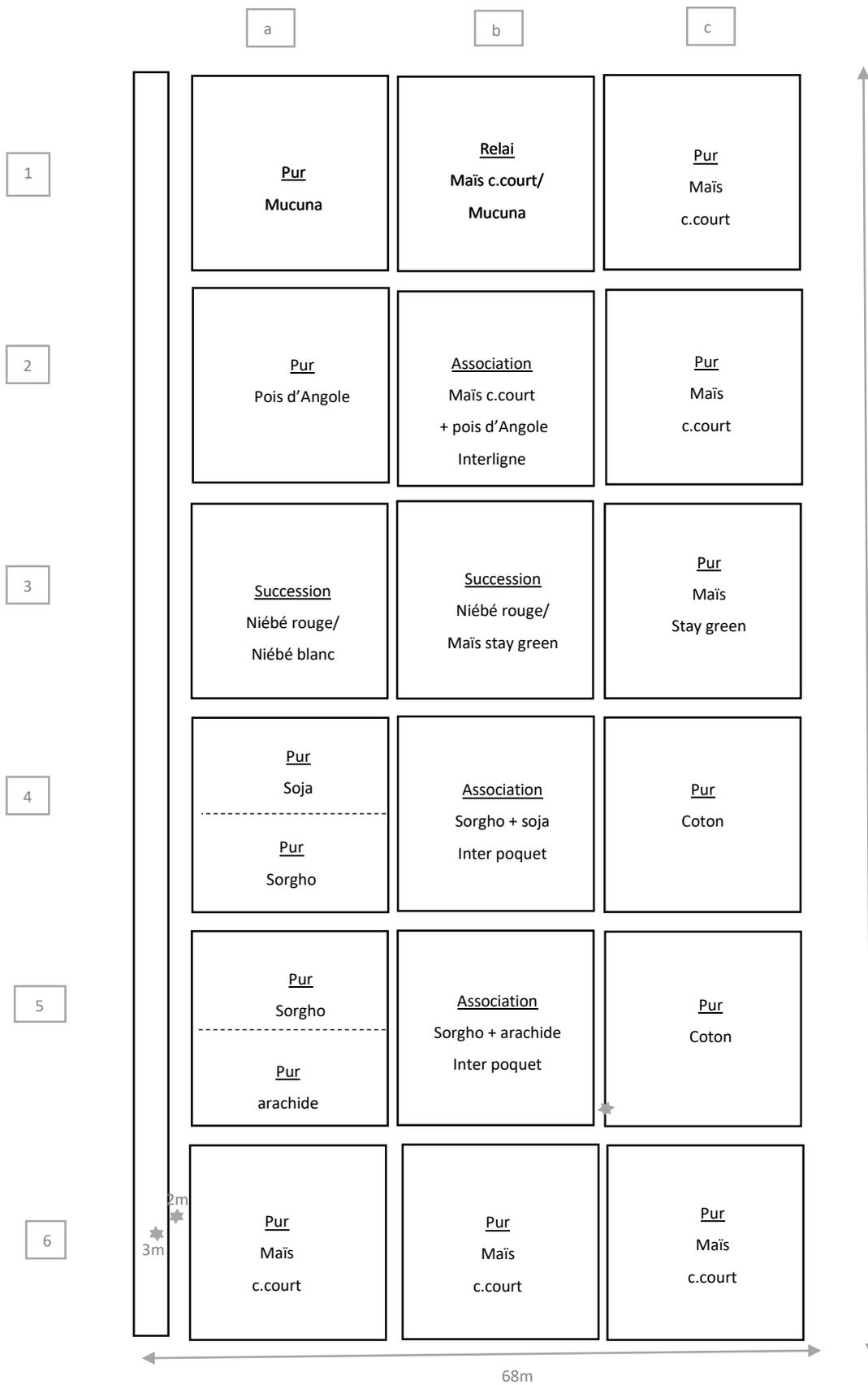


Pois d'Angole
(Photo: A.Périnelle)



Pois d'Angole avec gousses (Photo: A.Périnelle)

ANNEXE 2 : Schéma et protocole de l'essai de prototypage participatif 1 (PPT1), année 2017



Taille total : 68m x 132m = 8976 m²

18 placettes de 20m*20m=400m²

L'intérêt d'avoir des placettes carrées est que nous n'aurons pas à nous préoccuper du sens des billons par rapport au sens de la parcelle, (même s'il est préférable d'effectuer le labour dans le sens de la largeur afin d'avoir des lignes de semis plus droites). Le sens des billons a été déterminé par rapport au sens de la pente, afin que les billons soient perpendiculaires à la pente autant que possible.

Préparation de la parcelle:

Afin de respecter la pratique la plus répandue chez les petits producteurs de la zone, nous effectuerons un travail du sol avec un corps butteur en traction attelé. Nous aurons ainsi des billons tous les 70cm, d'où des interlignes de 70cm pour les semis.

(Il serait possible d'effectuer un labour à plat en traction attelée mais cette pratique est peu utilisée dans la mesure où cela demande davantage de temps de travail. Autrement, il faudrait utiliser un tracteur mais il s'agit d'une pratique minoritaire et réservée aux grandes cultures type coton et maïs, et pas aux légumineuses).

On appliquera un herbicide total (glyphosate) juste après le semis (la quantité sera comprise entre 2 et 3 L/ha, en fonction de l'écart de temps entre billonnage et semis, entre 2 et 3 jours si possible).

Les premiers semis auront lieu selon les pluies (et les possibilités de protection de la parcelle contre le pâturage) en juin.

Commentaires sur l'emplacement du maïs seul (parcelles 6).

Les parcelles 6 ne comprenant que du maïs pur, pourra être utilisée en année 2 pour tester un nouveau système de culture, et peut servir en année 1 de contrôle par rapport à l'homogénéité du sol, avec les autres placettes de maïs pur qui sont placées de part et d'autre du dispositif afin de contribuer aux éléments de vérification de l'homogénéité de la parcelle. On ajoutera également une bande de 3 à 4 lignes de maïs le long de la parcelle. Ce maïs ne sera pas fertilisé afin d'obtenir une meilleure idée du potentiel du sol et d'exacerber la variabilité de l'effet sol.

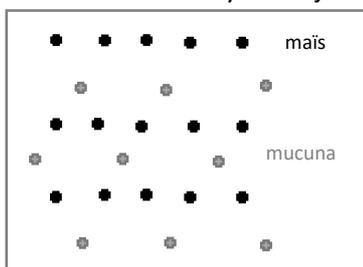
Variétés utilisées et semis

variétés	durée du cycle (jours)	lieu d'achat	Estimation quantité nécessaires /ha (en pure)	Estimation quantité nécessaires /400m ² (en pure)	Nombre de semences par poquet au semis	Nombre de pieds après démariage (si besoin)
maïs barka	80	Nafaso	20kg	0.8kg	3	2
maïs espoir	97	Nafaso	20kg	0.8kg	3	2
sorgho banfora	photoperiod.	marché local	6kg	0.24	4-5	2
coton F87		Groupement	60kg	2.4		
niébé rouge	60	marché local	12kg	0.48	3	2
niébé blanc Yisyandé	60	Nafaso	12kg	0.48	2	1
arachide	90	marché local	75kg	3	2	1
soja G197	105	Nafaso	20kg	0.8	2-3	1-2
mucuna deeringiana	130	Nafaso	40kg	1.6	2	1-2
pois d'Angole blanc	photoperiod.	INERA	10kg	0.4	2-3	1-2

Explications parcelles 1

Permet de tester:

- relai maïs cycle court (semé 70cmx40cm) / mucuna (70cmx80cm) (variété *Deeringiana*, 130-150 jours) semé en interligne, décalé par rapport au maïs, après le 2^e sarclage, environ 6 semaines après le maïs. Le mucuna sera fauché encore vert pour le fourrage. Pour le maïs on utilisera la variété *Barka*, résistante à la sécheresse et de cycle 80 jours.



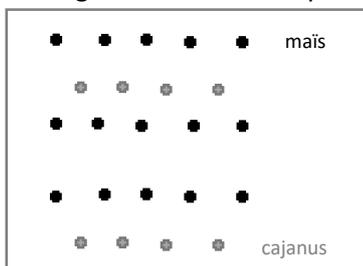
La variété de Mucuna utilisée est la variété la plus courte trouvée sur le marché Burkinabé.

-rotation maïs cycle court (70x40) / mucuna (70 x 60) pour semences. On tachera de réserver au moins une partie pour la production de semences. Le mucuna (variété *deeringena* 115jours) sera semé début juin, en même temps que les premiers semis. La parcelle en maïs cycle court (variété *Barka*) sera semée fin juin et atteindra sa maturité fin septembre (alors que le maïs stay green d'un cycle de 97 jours sera semé début juin et récolté à peu près au même moment).

Explications parcelles 2

Permet de tester:

-l'association maïs (70x40) + cajanus cajan (70x40), en interligne, distance entre les lignes de maïs constante, une ligne de pois d'Angole semée en décalage avec le maïs chaque deux lignes de maïs, après sarclage 3 à 4 semaines après le maïs. Une interligne de maïs sur deux sera libre, ce qui facilitera le sarclage.



Le choix de l'interligne a été fait afin de réduire la compétition des deux cultures pour la lumière.

-le cajanus cajan (70x40) en pur, ce qui permettra aux producteurs de se familiariser avec cette légumineuse (et ses utilisations fourragères) et d'assurer une production semences. Cette culture en pure pourra servir de précédent au maïs en année 2.

Explications parcelles 3

Permet de tester:

-succession niébé rouge (70x30) / maïs fourrager (70x40). On comparera l'utilisation d'une variété de maïs à cycle court (variété *barka*) et d'une variété dont les tiges restent vertes « stay green » (variété *espoir*). Ce maïs ne sera pas fertilisé. On réfléchira à la nécessité du labour avant de semer le maïs (selon pression des adventis)

Cette succession sera comparée à une succession niébé rouge (70x30) / niébé blanc (70x30) ; Si les premiers semis sont trop tardifs, on pourra réfléchir à l'éventualité de semer le niébé blanc en relai, c'est-à-dire avant la récolte du niébé rouge. Dans ce cas, il faudra veiller à bien nettoyer la parcelle des mauvaises herbes.

-la variété de maïs « stay green » (70x40) (variété *espoir* 97 jours) que l'on sèmera en pur afin de voir si ce type de variété peut intéresser les producteurs par son double usage. En effet, les tiges de ce maïs sont toujours vertes à la maturité du grain, les résidus de cette variété sont donc davantage appétantes pour les bovins. Cette variété a été proposée par l'INERA quand nous leur avons parlé de maïs fourrager.

Explications parcelles 4

Permet de tester:

-l'association sorgho (70x80) + soja en inter poquet, 3 poquets à 20 cm de distance entre chaque poquet de sorgho (donc un poquet de sorgho ou de soja tous les 20cm). Le sorgho est semé environ 10 jours après le soja (variété G197 de 105 jours).



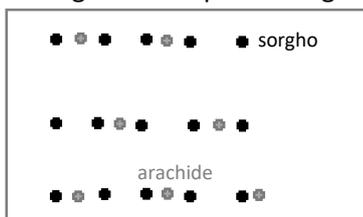
-comparaison de l'association avec les deux cultures en pures : sorgho (70x40) et soja (70x20).

-du coton (70x40) en pur, que l'on pourra tester après des légumineuses en année 2 et utiliser comme précédent d'autres cultures.

Explications parcelles 5

Permet de tester:

-association sorgho (70x40) arachide (70x80) en inter poquet. Le sorgho et l'arachide sont semés le même jour, un poquet d'arachide chaque deux poquet de sorgho, en decallage à chaque ligne. On récoltera le sorgho en coupant les tiges.



-comparaison de l'association avec les deux cultures en pures : sorgho (70x40) et arachide (70x20).

-du coton (70x40) en pur, que l'on pourra tester après des légumineuses en année 2 et utiliser comme précédent d'autres cultures.

Entretien des cultures

Après application herbicide total appliqué avant semis, nous réaliserons 1 à 2 désherbage à la main (sarclage) selon les besoins.

En outre, on effectuera un buttage du maïs, du coton et du sorgho.

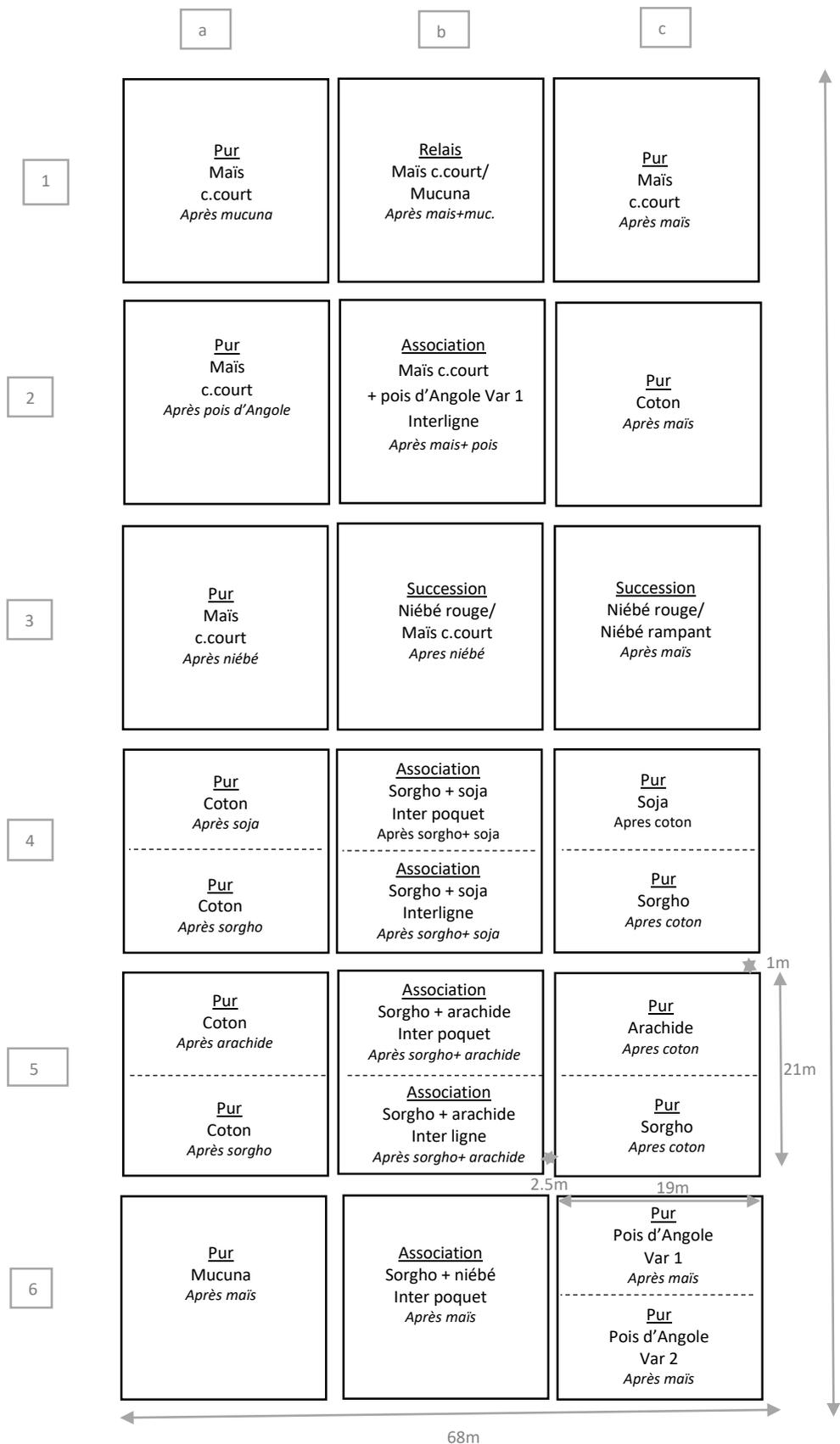
Apport d'engrais

Afin de mieux faire comprendre l'intérêt des légumineuses pour la fertilité du sol, et de respecter les contraintes des producteurs par rapport à l'accès aux intrants, nous appliquerons les mêmes doses qu'eux pour les cultures en pure.

Ainsi, comme eux, nous appliquerons de l'engrais uniquement sur le maïs et le coton : nous appliquerons 150kg/ha (6kg/400m²) de NPK 14-23-14 et 50kg/ha (2kg/400m²) d'urée. Le maïs associé étant semé à la même densité que le maïs seul, il s'agit d'une association additive, et nous appliquerons les mêmes doses d'engrais.

L'engrais sera appliqué aux pieds des poquets de la culture principale et l'urée sera recouverte (pratiques différentes de celle des paysans).

ANNEXE 3 : Schéma et protocole de l'essai de prototypage participatif 2 (PPT2), année 2018



Taille total : 68m x 132m = 8976 m²

Préparation de la parcelle:

Les feuilles de karité sont brûlées hors des parcelles élémentaires, les autres résidus de culture sont préservés autant que possible.

Afin de respecter la pratique la plus répandue chez les petits producteurs de la zone, nous effectuons un travail du sol avec un corps butteur en traction attelé. Nous aurons ainsi des billons tous les 70cm, d'où des interlignes de 70cm pour les semis.

On appliquera un herbicide total (glyphosate) juste après le semis (la quantité sera comprise entre 2 et 3 L/ha, en fonction de la pression des adventis).

Les premiers semis auront lieu selon les pluies (et les possibilités de protection de la parcelle contre le pâturage) en juin.

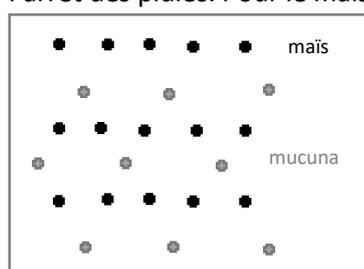
Variétés utilisées et semis

variétés	durée du cycle (jours)	lieu d'achat	Estimation quantité nécessaires /ha (en pure)	Estimation quantité nécessaires /400m ² (en pure)	Nombre de semences par poquet au semis	Nombre de pieds après démarrage (si besoin)
maïs barka	80	Nafaso	25kg	1kg	3	2
sorgho banfora	photoperiod.	marché local	6kg	0.24	4-5	2
coton FK 37		Groupement	60kg	2.4		
niébé rouge	60	marché local	12kg	0.48	3	2
niébé blanc rampant	70	Nafaso	12kg	0.48	2	2
Arachide (non décortiqué)	90	marché local	80kg	3	2	1
soja G197	105	Nafaso	20kg	0.8	2-3	1-2
mucuna deeringiana	115	Nafaso	40kg	1.6	2	1-2
pois d'Angole blanc	photoperiod.	INERA	10kg	0.4	2-3	1-2
pois d'Angole rouge	photoperiod.	INERA	10kg	0.4	2-3	1-2

Explications parcelles 1

Permet de tester:

-relais maïs cycle court (semé 70cmx40cm) / mucuna (70cmx80cm) (variété *Deeringiana*, 115jours) semé en interligne, après le buttage du maïs. Le mucuna sera fauché encore vert pour le fourrage après l'arrêt des pluies. Pour le maïs on utilise la variété *Barka*, de cycle 80 jours.



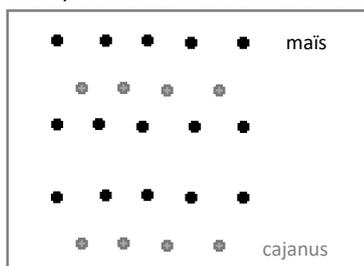
-rotation mucuna (70 x 60) / maïs cycle court (70x40). On tachera de réserver au moins une partie du mucuna pour la production de semences. Le maïs barka sera semés en juin, rapidement après la préparation du sol, sur toute les parcelles (en pur ou en association). La mucuna (variété *deeringena*) pourra être semé plus tard.

On pourra comparer le maïs après mucuna avec du maïs après maïs. Le mucuna pur après le maïs est placé sur une parcelle plus difficilement accessibles aux animaux (parcelles 6).

Explications parcelles 2

Permet de tester:

-l'association maïs (70x40) + pois d'Angole (cajanus cajan) (70x40), en interligne, distance entre les lignes de maïs constante, une ligne de pois d'Angole semée en décalage avec le maïs chaque deux lignes de maïs, au re-semis du maïs. Une interligne de maïs sur deux sera libre, ce qui facilitera le buttage.



Nous avons avancé la date de semis du pois d'Angole par rapport à l'année 1 afin d'augmenter les chances de récolter des gousses et de mieux tester l'effet du pois d'Angole sur les adventices. Le choix de l'interligne a été fait afin de réduire la compétition des deux cultures pour la lumière et pour permettre de passer entre les lignes de maïs.

-rotation pois d'Angole (70x40) en pur / maïs cycle court (70x40). On pourra comparer le maïs après pois d'Angole avec du maïs après maïs. Le pois d'Angole pur après le maïs est placé sur une parcelle plus difficilement accessibles aux animaux (parcelles 6).

Cette année, deux variétés de pois d'Angole, une fournie par l'INERA et l'autre, de cycle plus court, par l'ICRISAT, seront testées en pure, afin de voir si l'une des deux est plus adaptée à l'écosystème.

Explications parcelles 3

Permet de tester:

-succession ou relai niébé rouge (70x60) + maïs fourrager (70x40). Le maïs est semé après la récolte du niébé (ou si possible après le dernier sarclage) pour la production de fourrage. Dans la mesure où nous ne comptons pas récolter de grain, ce maïs ne sera pas fertilisé.

Cette succession sera comparée à une succession ou un relais niébé rouge (70x30) + niébé blanc rampant (70x30) semé après récolte du niébé rouge.

-la rotation niébé rouge / maïs (70x40).

Explications parcelles 4

Permet de tester:

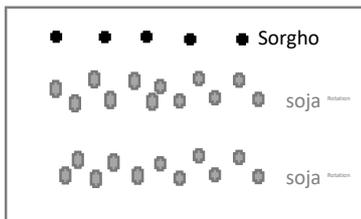
-l'association sorgho (70x80) + soja en inter poquet, 3 poquets à 20 cm de distance entre chaque poquet de sorgho (donc un poquet de sorgho ou de soja tous les 15cm). Le sorgho est semé le même jour que le soja (variété G197 de 90 jours), et n'est pas fertilisé.

Nous aurons une densité de soja en association proche de la densité du soja pure. L'inter poquet présente l'intérêt de permettre des associations additives mais empêche les opérations de buttage.



- association sorgho (210x40) soja (70x20) en inter lignes : 1 billon de sorgho/ 2 billons de soja avec deux lignes en quinconce sur les flancs des billons.

L'interligne, qui n'a pas été testé en année 1, a été proposé par les producteurs lors des visites pour éviter les compétitions entre espèces (surtout pour la lumière), ainsi que pour faciliter les opérations de sarclage, voire de buttage du sorgho et ou du soja.

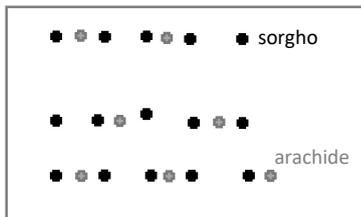


- les deux cultures pures : sorgho (70x40) et soja (70x20) après du coton.
- du coton (70x40) après du soja en comparaison avec du coton après du sorgho.

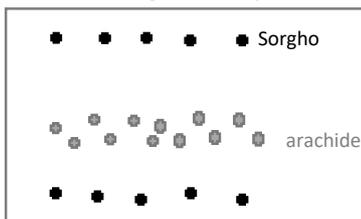
Explications parcelles 5

Permet de tester:

-association sorgho (70x40) arachide (70x80) en inter poquet. Le sorgho et l'arachide sont semés le même jour, un poquet d'arachide chaque deux poquet de sorgho, en décalage à chaque ligne. On récoltera le sorgho en coupant les tiges.



-association sorgho (70x40) arachide (70x20) en inter lignes : 2 billons de sorgho/ 1 billon d'arachide avec deux lignes en quinconce sur les flancs des billons.



- les deux cultures pures : sorgho (70x40) et arachide (70x20) après du coton.
- du coton (70x40) après de l'arachide en comparaison avec du coton après du sorgho.

Explications parcelles 6

Permet de tester:

-les culture fourragères en pure, car ces parcelles sont plus difficiles d'accès aux animaux. Nous gardons du maïs après du maïs comme témoins (1c et 2c).

-association sorgho (70x40) niébé rouge (70x40) en inter poquet. Le sorgho est semé 2 à 3 semaines après le niébé afin de pouvoir récolté le niébé juste avant le buttage du sorgho.

Il s'agit d'une nouvelle association, proposée par les producteurs lors des ateliers de co-évaluation.

Entretien des cultures

Après application herbicide total appliqué avant semis, nous réaliserons 1 à 2 désherbage à la main (sarclage) selon les besoins. En outre, on effectuera un buttage du maïs, du coton et du sorgho quand cela est possible. Les couloirs entre les parcelles ont été élargis à 2,5 mètre afin de pouvoir rentrer dans les parcelles avec la traction animale pour le buttage.

Apport d'engrais

Nous appliquons de l'engrais uniquement sur le maïs et le coton : 150kg/ha (6kg/400m²) de NPK 14-23-14 et 50kg/ha (2kg/400m²) d'urée. Le maïs associé étant semé à la même densité que le maïs seul, il s'agit d'une association additive, et nous appliquerons les même doses d'engrais.

L'engrais sera appliqué aux pieds des poquets de la culture principale et recouverte en même temps que le sarclage.

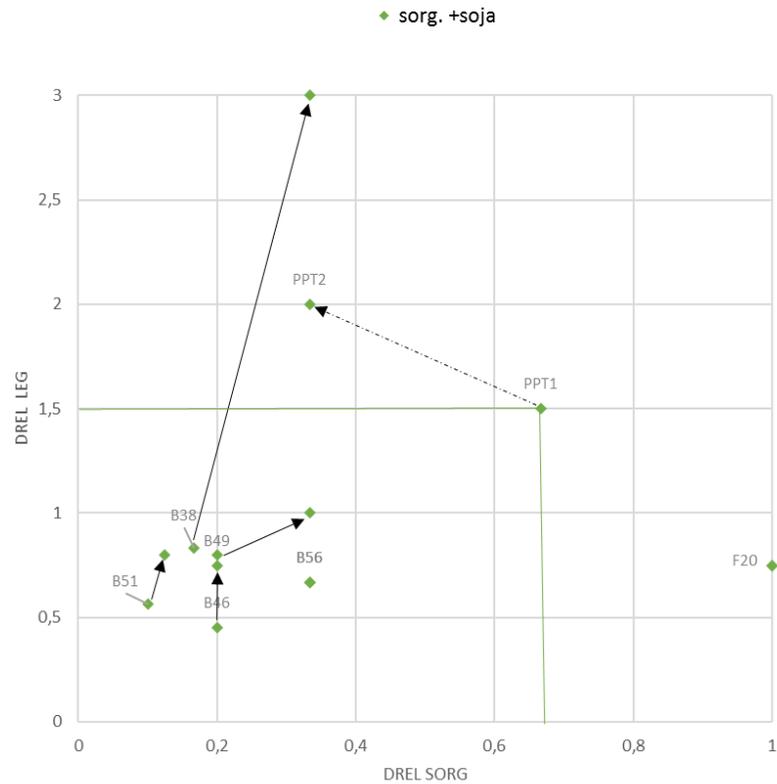
ANNEXE 4 : Figures détaillant les différents types d'adaptation présentées dans le chapitre 3 des résultats

Tableau récapitulatif, avec sa légende (couleurs par type de dynamique d'adaptation), des différents types de dynamique d'adaptation, avec les caractéristiques correspondant aux FAT en ligne, et les caractéristiques correspondant aux FAT2 en colonnes; avec écrit en vert les producteurs faisant l'association sorgho-soja, et en marron ceux faisant l'association sorgho-arachide.

FAT			FAT2				
Organisation spatiale des semis	Culture principale	IP		IL ou IL&IP		Arret	
		Sorgho	Légumineuse	Sorgho	Légumineuse		
FAT1	IP	Sorgho	F20		F23		F10; B52; F18; F22; F34
		Légumineuse					B40; F17; F5
	IL ou IL&IP	Sorgho				B37	
		Légumineuse			F3; B39	B38; B46; B49; B51; B56	F102
	Autre SCI					B43; B45; B101; B47; B41; F9	

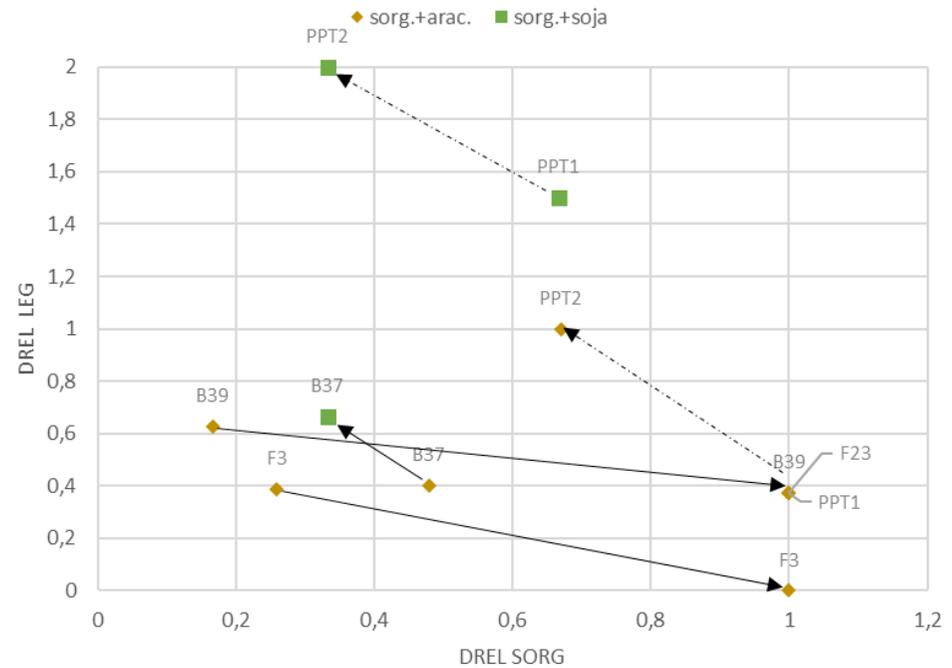
Légende	Type de dynamique d'adaptation
	Dynamique d'adaptation 1
	Dynamique d'adaptation 1'
	Dynamique d'adaptation 2
	Dynamique d'adaptation 2'
	Dynamique d'adaptation 3
	Dynamique d'adaptation 3'
	Dynamique d'adaptation 4

DYNAMIQUE D'ADAPTATION 1 ET 1'



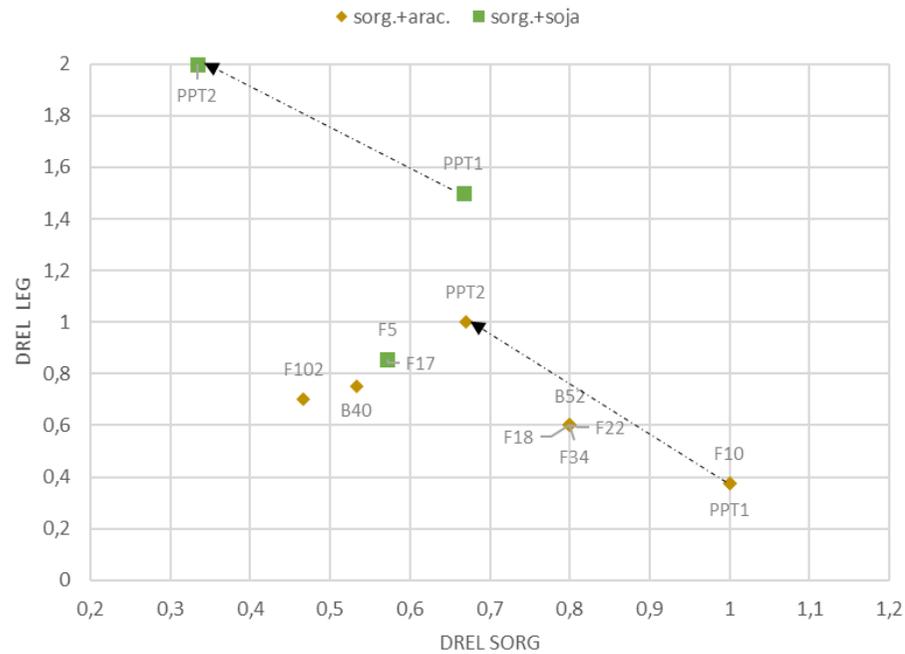
Evolution des densités relatives de sorgho (Drel sorg en abscisse) en fonction de la densité relative du soja (Drel leg en ordonnée) pour les dynamiques d'adaptation de type 1 (les flèches pleines représentant le passage du FAT1 au FAT2 et les flèches en pointillés le passage du PPT1 au PPT2 ; carrés verts pour les associations sorgho-soja et carrés marron pour les associations sorgho-arachide)

DYNAMIQUE D'ADAPTATION 2 ET 2'



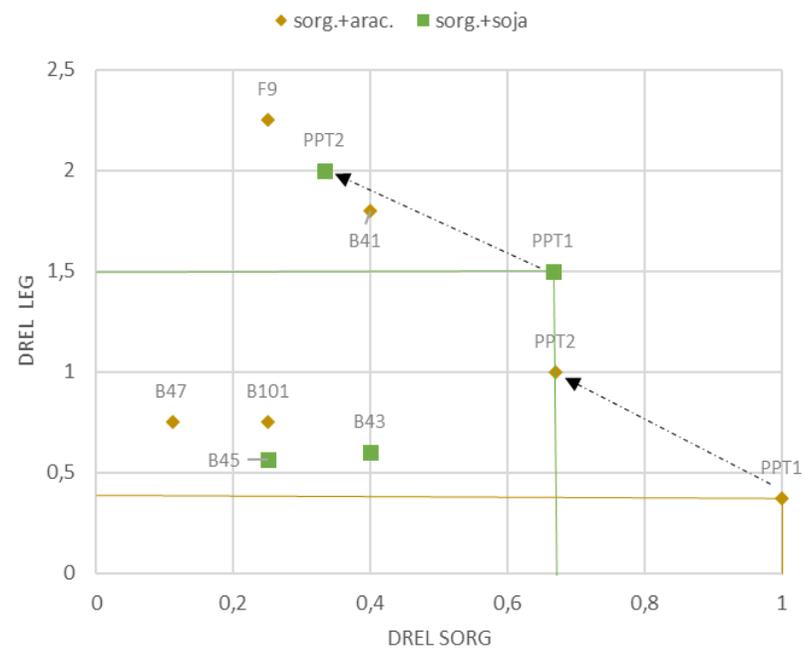
Evolution des densités relatives de sorgho (Drel sorg en abscisse) en fonction de la densité relative du soja (Drel leg en ordonnée) pour les dynamiques d'adaptation de type 2 (les flèches pleines représentant le passage du FAT1 au FAT2 et les flèches en pointillés le passage du PPT1 au PPT2 ; carrés verts pour les associations sorgho-soja et carrés marron pour les associations sorgho-arachide)

DYNAMIQUES D'ADAPTATION 3 & 3'



Evolution des densités relatives de sorgho (Drel sorg en abscisse) en fonction de la densité relative du soja (Drel leg en ordonnée) pour les dynamiques d'adaptation de type 3 et 3' (les flèches pleines représentant le passage du FAT1 au FAT2 et les flèches en pointillés le passage du PPT1 au PPT2 ; carrés verts pour les associations sorgho-soja et carrés marron pour les associations sorgho-arachide)

DYNAMIQUE D'ADAPTATION 4



Evolution des densités relatives de sorgho (Drel sorg en abscisse) en fonction de la densité relative du soja (Drel leg en ordonnée) pour les dynamiques d'adaptation de type 4 (les flèches pleines représentant le passage du FAT1 au FAT2 et les flèches en pointillés le passage du PPT1 au PPT2 ; carrés verts pour les associations sorgho-soja et carrés marron pour les associations sorgho-arachide)

Titre : Co-conception de systèmes de culture innovants avec 2 communautés villageoises du Burkina Faso : Articulation entre traque aux innovations, prototypage participatif et expérimentations paysannes

Mots clés : approche participative ; systèmes de culture ; innovations agroécologiques ; légumineuses ; Afrique de l'Ouest ; conception pas-à-pas.

Résumé : Face aux besoins d'innovation de plus en plus urgents, il est nécessaire de développer des approches permettant de co-concevoir des Systèmes de Cultures Innovants (ICS) appropriables par les producteurs et adaptés aux conditions locales d'accès aux ressources. Pour ce faire, nous proposons une articulation originale de différents outils de co-conception, tels que la traque aux innovations, des Essais de Prototypage Participatifs (EPP), des ateliers de conception et d'évaluation, et des essais paysans de conception pas-à-pas. Cette démarche a été conduite avec 73 producteurs appartenant à deux communautés villageoises de la zone cotonnière du Burkina Faso.

Nous montrons que (i) Certaines options techniques mises en place par des producteurs innovants du territoire anticipent différents facteurs de changement de la zone, et intéressent d'autres producteurs; (ii) On

peut impliquer une grande diversité de producteurs par la mise en démonstration et en débat d'options techniques variées techniquement accessibles, que l'on fait évoluer en prenant en compte l'évaluation des producteurs et qui conviennent à leurs accès aux ressources ; (iii) Par la mise en expérimentation dans leurs exploitations, les producteurs adaptent ces options innovantes à leurs situations particulières, et entrent dans un processus de conception pas-à-pas de systèmes de culture innovants, processus nourri par les échanges entre pairs et avec les agronomes.

Ainsi, en soumettant des innovations mises au point par des producteurs du territoire à l'évaluation collective d'autres producteurs, nous avons initié, au sein d'une grande diversité de systèmes de productions, la conception pas-à-pas de ICS adaptés à chaque situation individuelle.

Title : Co-design of innovative cropping systems with two communities in Burkina Faso: Combining innovations tracking, participatory prototyping trials and farmers' trials.

Keywords : participatory approach ; cropping systems; agroecological innovations; legumes; West Africa; step by step design

Abstract : In view of the increasingly urgent need for innovation in agriculture, it is necessary to develop approaches to co-design Innovative Cropping Systems (ICS) that are easy to appropriate for farmers and that are adapted to local conditions of access to resources. To do so, we propose an original combination of different methods such as on-farm innovation tracking, Participatory Prototyping Trials (PPTs), design and evaluation workshops, and farmers' step-by-step design. The study was conducted with 73 producers belonging to two farmers' communities in the cotton production zone of Burkina Faso.

We show that: (i) Some technical options implemented

by innovative farmers in the area anticipate different drivers of change of the study area, and other farmers show interest for these innovative cropping systems; (ii) A wide range of farmers can be involved by debating various innovative practices demonstrated in the PPTs, those innovations are developed taking farmers' evaluation and access to resources into account; (iii) By experimenting on their farms, farmers have adapted these ICSs to their own situations and enter into a step-by-step design process of innovative cropping systems, a process that is fueled by exchanges among peers and with agronomists.